



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE



MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT  
SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Larbi Ben M'hidi- OUM EL BOUAGHI –

Faculté des Sciences et sciences appliquées

***Département D'Hydraulique***

***Mémoire fin d'étude pour l'obtention du diplôme***

***magister en hydraulique***

**OPTION :**

***Aménagement Hydraulique et Environnement***

***Thème***

Contribution a l'étude de possibilité d'envasement  
de la retenue de koudiet Medouar (w .Batna)

**✚ Présenté par :**

☞ **Menchar saliha**

**✚ Devant le jury :**

☞ *Président : Gherraf Noureddine Pr. Univ. d'Oum El Bouaghi*

☞ *Examineur : Mr Meza Noureddine MCA. Univ. d'Oum El Bouaghi*

☞ *Examineur : Djabri Larbi Pr. Univ. d'Annaba*

☞ *Encadreur : Mr Khiari Abd elkader Pr. Univ. d'Oum El Bouaghi*

***Promotion : 2012-2013***

# Remerciements

- *Je tiens à adresser ma reconnaissance la plus profonde à mon promoteur, Monsieur, **Mr Khiari Abd elkader** qui m'a proposé ce sujet et a maintenu constamment mon esprit en éveil afin d'atteindre les objectifs visés.*

*Je remercie les membres de jury d'avoir accepté de juger mon travail,*

***Mr Meza Nouredine ,Djabri Larbi et Gherraf Nouredine***

*Je tiens à présenter, pour a l'occasion, toute ma reconnaissance à tous les enseignants qui ont contribué à ma formation.*

- *Mes remerciements à tout le personnel d'université d'Oum el bouaghi, Enfin, merci infiniment à tous les amis qui m'ont soutenu et qui m'ont aidé pour l'élaboration de ce mémoire de fin d'études.*

# Dédicace

*Du fond du cœur, je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect :*

■ ■ *A mes chers parents*

*Merci pour votre aide et merci pour votre Patience qui m'ont poussé vers la réussite Vous être toujours les plus importants dans ma vie*

■ ■ *Mon mari Karim, mon fils Moatez et Idriss, les frères de toujours Kamel, Lazhar, Yassine, Serbah et mes sœurs ; drifa, Biya, Nacira, Malika, Hadda.*

■ ■ *A tous ma famille menchar laid :*

*hadda, mebrouk, samira, seuad, sara, chahra, khaulia, mona, zine, ala, et fateh*

■ ■ *Mes amis ; johar, khadra, hakima, liala, samia, bassema, amal, bouthaina, mariem*

■ ■ *Le grand père ; hadj bachir, et ami mebrouk, zakia.*

*Menchar Saliha*

# **Introduction générale**

## **Introduction générale**

Les barrages de stockage sont exposés à une perte de capacité due au phénomène d'envasement. Un phénomène qui peut s'exprimer par d'autres termes tels que, l'alluvionnement des retenues et la sédimentation des particules transportées par les cours d'eau. il est la conséquence naturelle de la dégradation des bassins versants.

Ce phénomène constitue actuellement une préoccupation aux exploitants et aux responsables de mobilisation des ressources hydrauliques. Devant les difficultés trouvées pour la maîtrise de l'alluvionnement en Algérie du nord, l'analyse d'état d'envasement est obligatoirement demandée pour définir le degré de gravité au niveau des barrages. Les présentes approches de quantification visent à fournir aux exploitants et aux projeteurs la situation présente et future de nos retenues. Eventuellement toute analyse d'état s'appuie sur l'analyse des levés bathymétrique, ou sur les prélèvements d'échantillon d'apport solide. Tout en développant les facteurs dont dépendent ces derniers, ainsi leurs dépôts. L'analyse statistique des données sur les barrages faisant l'objet de l'étude, est considérée une des méthodes efficaces permis d'aboutir à des résultats fiables et pratiques.

Notre travail s'articule sur le plan suivant :

Nous avons parlé sur l'ampleur de l'envasement des retenues de barrages, les facteurs induisant l'envasement , le phénomène de l'érosion et du transport solide dans les bassins versants avant de passer en revue l'ensemble des travaux de recherches effectués dans le domaine. Le deuxième chapitre sera consacré à la présentation de la zone d'étude ; à la station hydrométrique implantée dans la région ainsi qu'aux caractéristiques du barrage de Koudiet Lamdaouar.

Nous analyserons les paramètres climatologiques (III chapitre). Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et d'évacuer l'ensemble des éléments climatologiques et aussi la manière dont les différents composants du climat se comportent l'un par rapport à l'autre. Le traitement des données et l'analyse des résultats seront présentées au chapitre IV. Le premier volet sera porté sur la procédure de quantification basée sur le choix du modèle mathématique représentant les couples (débit solide- débit liquide). Le deuxième sera consacré ; bien évidemment à la validation du modèle retenu et à la quantification du transport solide par suspension. Sur la base des résultats trouvés nous calculons le transport solide en suspension sur une période de 25 ans (1971-1996).

Ensuite ; nous discuterons tous les résultats obtenus ; telle que l'évolution temporelle des apports solides et la variation de l'érosion spécifique dans le temps. Le dernier volet consistera à l'application directe des résultats à l'envasement du barrage de Koudiet Lamdaouar.

En dernier lieu ; nous terminerons avec une conclusion générale sur le travail.

# **Chapitre I**

## **Etude bibliographique**

## Objectifs :

A la lumière des problématiques et des conditions multiformes du processus complexe :

érosion – transport solide – envasement, il convient de souligner l'importance dans la quantification de l'envasement des retenues de barrage, des études de modélisation de l'envasement tenant compte des mécanismes et du mode de déposition des vases. Cette approche présente un intérêt économique important permettant de prévoir les mesures nécessaires au cours de l'exploitation dans le but d'augmenter la durée de vie des ouvrages hydrauliques concernés. On procède dans ce travail à une étude de transport solides et leur impact sur l'alluvionnement des barrages et ce pour les objectifs essentiels suivants :

- l'estimation de la durée de vie du barrage en tant qu'ouvrage de régularisation des apports;
- l'estimation de l'envasement après une durée d'exploitation donnée.

Le présent travail a pour but de traiter et d'analyser les données hydrométriques (débits liquide et solide), nous permettant, après leurs corrections, de mettre en évidence la correction qui existe entre les débits solides et liquides et leur influence sur l'envasement des barrages.

## 1- Ampleur de l'envasement des retenues de barrages

### Introduction

L'infrastructure hydraulique des pays du Maghreb arabe est amputée annuellement de 2% à 5% de la capacité utile globale, où l'envasement des retenues est classé parmi l'un des facteurs les plus importants de la perte en capacité. La réduction de la réserve de stockage des ouvrages hydrauliques se voit croître sans cesse au fil de ces derniers temps et ce pour les deux raisons essentielles suivantes: la première, d'origine naturelle, est favorisée par l'agressivité du climat, l'alternance des périodes sèches et humides, la fragilité des formations géologiques et l'absence du barrage permettant couvert végétale suffisant ; la seconde, due d'une part aux mauvaises études et évaluations du problème avant l'implantation de prévoir des solutions avant que le phénomène est fait ses effets, et d'autre part à une mauvaise exploitation des ouvrages annexes, tels que les vannes de vidange et les ouvrages de soutirage.

Les chiffres exposés ci-dessous, illustrent mieux l'ampleur du problème dans l'Algérie.

La réduction des potentialités hydrauliques de l'Algérie par suite de l'envasement est estimée annuellement à près de 20 millions de m<sup>3</sup>.

Le phénomène d'envasement en Algérie change considérablement d'une à une autre. Ceci est du à la variation des facteurs conditionnant l'érosion et le transport solide.

Le tableau (I.2) expose l'état de l'envasement de quelques barrages algériens.

Tableau (I.1) : Etat des lieux de quelques barrages algériens

Barrage	Wilaya	Oued	Année de mise en eau	Capacité initiale (Hm3)	Perte de volume utile (%)	Volume du dépôt annuel (Hm3)
F,Gherza	Biskra	Al Biod	1950	47	63	1
Fergoug	Mascara	El Hamam	1970	18	18	2
B.Amrane	Boumerdes	Isser	1988	16	16	5.5
O.Fodda	Chlef	Fodda	1932	228	55	0.8
F. Gueiss	Khenchela	Gueiss	1939	3	47	1
Zardezas	Skikda	Saf Saf	1947	31	44	0.8
Bouhanifia	Mascara	El Hamam	1948	73	42	0.8
Boughzoul	Médéa	Nahroussal	1934	55	35	0.5

(Source : ANBT)

## 2- Facteurs induisant l'envasement des barrages :

### Processus naturels

L'envasement des retenues est le résultat d'un processus complexe qui se caractérise par trois étapes successives : érosion, transport et sédimentation.

#### I- Erosion des sols :

L'érosion des sols est l'enlèvement des particules solides de ces sols par le fait de la précipitation. Ce phénomène est le premier processus conduisant vers l'envasement des retenues. C'est un phénomène complexe, très répandu dans la zone méditerranéenne, touchant particulièrement Les pays du Maghreb arabe dont il menace gravement les potentialités en eau et en sol.

Le calcul du transport solide et la prévision du volume d'envasement nécessitent une bonne compréhension des phénomènes de leur genèse, et plus particulièrement celui de l'érosion des sols.

#### II- Transports solides:

Ce phénomène est le principal élément moteur après l'érosion, conduisant au processus d'envasement des barrages. Ce processus fait le lien entre les sols du bassin versant et la retenue du barrage. Il est défini par un écoulement biphasique caractérisé d'une phase liquide (eau) et d'un autre solide (granulats, sol).

Dans les cours d'eau naturels, les particules solides vont être transportées en suspension ou en charriage (figure I-1).

Dans le transport en suspension les particules solides élémentaires se déplacent en suspension au sein de l'écoulement avec une vitesse de même ordre de grandeur que celle du fluide, où la turbulence maintient des éléments fins en suspension.

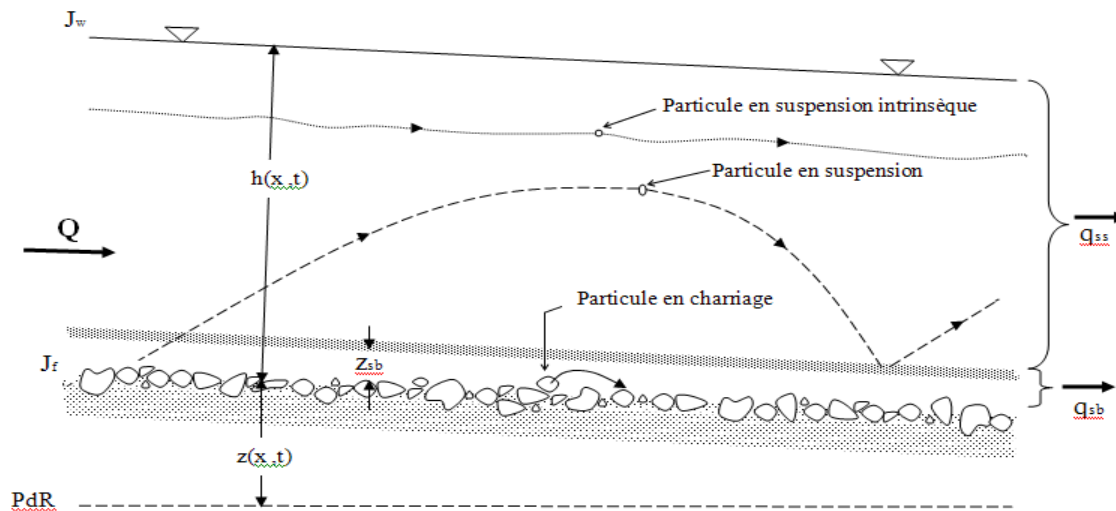


Figure (I.1): Modes de transport solide

**III- Sédimentation et envasement :**

C'est l'étape finale de l'envasement des retenues. A l'état naturel les oueds 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 sur le long de la retenue et transportent ainsi la vase jusqu'au pied du barrage. Dans ce trajet, les sédiments se déposent, des plus grandes particules aux plus petites, de l'amont vers l'aval de la retenue (figure I.2). Les différents mécanismes de l'envasement dépendent du type de retenues (morphologie) et les conditions de sédimentation existant à l'amont de la retenue (érosion et transport solide).

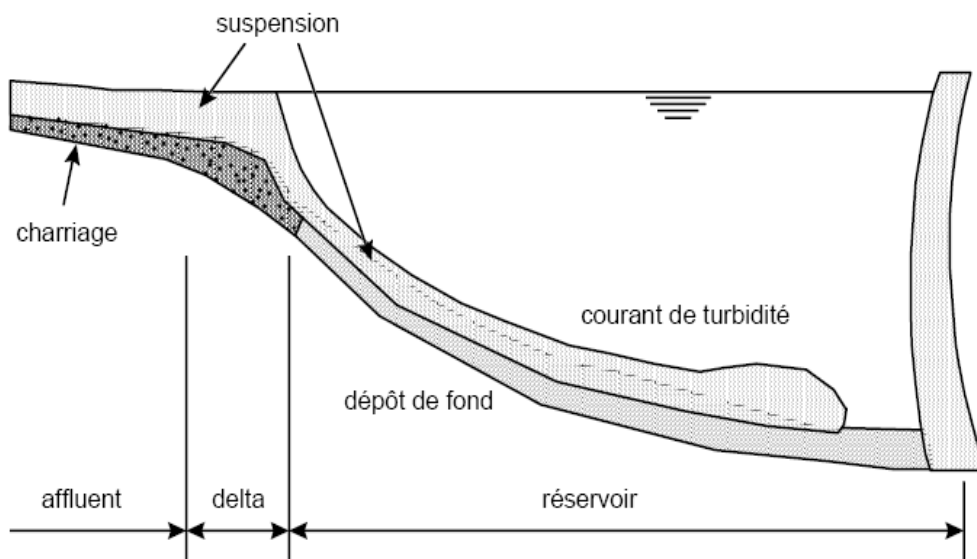


Figure (I.2): Mode d'envasement

Parfois l'envasement des barrages est lié à des erreurs commises par les organismes responsables de l'étude du projet et/ou de sa réalisation et/ou enfin de la gestion de l'ouvrage au cours d'exploitation. Ces erreurs dites techniques peuvent être énumérées comme suit :

**a)- Mauvaise évaluation du problème de l'envasement avant la construction du barrage, pouvant être le résultat de plusieurs facteurs, tels que :**

- l'utilisation de modèles empiriques statiques ou établis dans des conditions différentes de celles du site étudié.
- le manque d'élaboration de modèles de prévision : ces modèles exigent de longues séries de données (météorologiques, hydrométriques....), alors que la qualité des prévisions qu'on en tire est très fortement influencée par la réponse systématique historique.
- exploitation de fausses données, résultats des fausses mesures : durant les périodes des crues les prélèvements des échantillons pour déterminer la concentration se font dans des endroits non représentatifs de la section d'écoulement.

**b)- Mauvaise exploitation et implantation des ouvrages annexes à cause de l'ignorance du mécanisme des courants de densité, ainsi :**

- la direction des courants de densité varie avec la morphologie de la retenue et leur évacuation se fait à partir des ouvrages de soutirage ; si ces derniers sont mal positionnés la vase sera emmagasinée en amont du barrage ;
- le mode d'écoulement de cette vase dépend de sa rigidité qui varie avec la nature des sédiments et leur temps de séjour dans la retenue, et dont la connaissance permet d'optimiser les manœuvres des ouvrages de soutirage.

## Processus de l'érosion dans les bassins versants :

### I-1- Généralités :

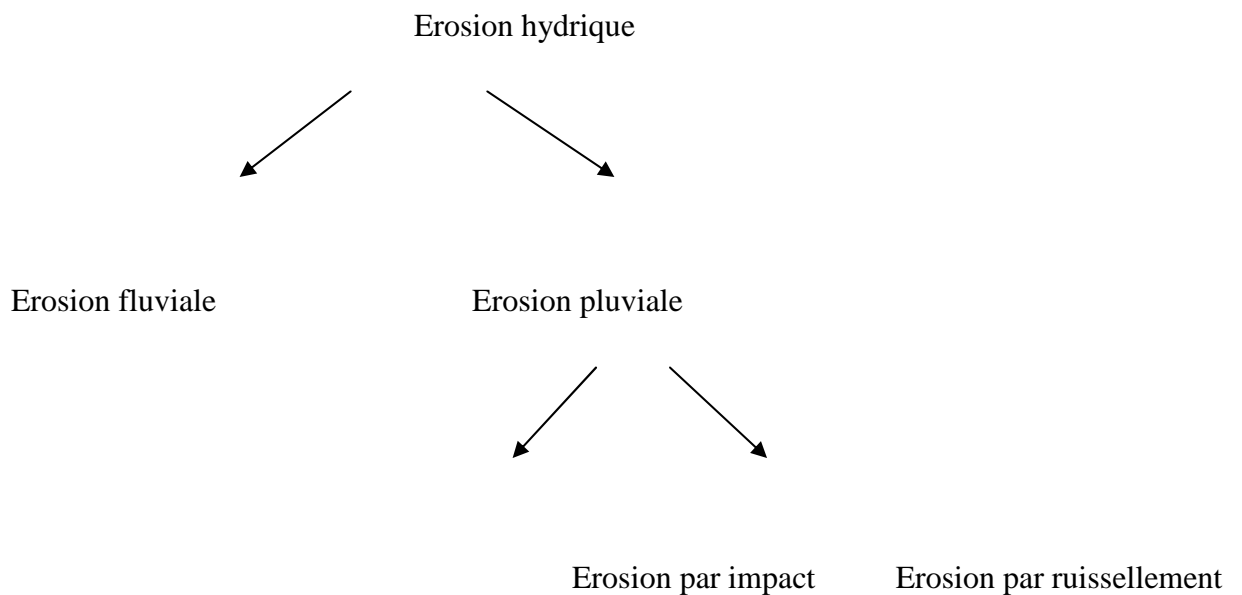
L'érosion est un phénomène temporel, consistant en un détachement de fragments ou de particules de sol ou de roche de leur position initiale par l'eau et les autres agents externes, tels que la pluie, le vent, la glace, etc.

Bien que les activités humaines influent particulièrement sur l'érosion des berges ou du fond du lit des cours d'eau et quelques fois sur l'érosion des sols, l'homme a subi l'effet de toutes les formes d'érosion et de dépôts de sédiments.

L'érosion existe en deux formes :

- Erosion éolienne.
- Erosion hydrique.

L'érosion hydrique existe en plusieurs types :



**Figure I.3: type d'érosion hydrique.**

L'érosion pluviale est l'aspect le plus important de l'érosion au Nord d'Algérie et précisément l'érosion par ruissellement dû aux eaux de pluie et surtout à la suite des averses torrentielles.

Ce type d'érosion décape les horizons supérieurs du sol progressivement et sa force augmente avec l'intensité de la pluie et la longueur du bassin versant. Cette force d'érosion diminue avec l'importance des obstacles rencontrés.

## I.2- Causes de l'érosion :

Les causes sont multiples. L'agent principal est l'eau et plus particulièrement la pluie torrentielle.

Le climat de l'Algérie du Nord est caractérisé par une irrégularité saisonnière et interannuelle des pluies liées à des intensités parfois très élevées. Ces intensités peuvent engendrer avec des temps de concentration parfois très courts des pertes de terrains considérables.

Les pluies, d'intensité supérieure à 30 mm/24h sont très fréquentes dans l'Atlas tellien.[3].

A cela, doit s'ajouter le couvert végétal, la pente du terrain, la lithologie du bassin versant, l'homme, qui ont leur part dans l'érosion des bassins versants.

## I.3- Quantification de l'érosion :

Plusieurs formules et méthodes qui impliquent tous les paramètres physiques sont utilisées pour la quantification de l'érosion hydrique.

### I.3.3- Formule de L'A.N.R.H :

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

Avec :

$T_{ss}$  : transport solide spécifique moyen annuel (T/Km.an).

$I_e$  : indice lithologique (%).

$Ct = Dd \cdot Fl$  : coefficient de torrentialité.

$Dd = \frac{\sum_{i=1}^N L_i}{A}$  densité de drainage.

$L_i$  : longueur de tous les cours d'eau d'ordre 1 (Km).

$Fl = \text{nombre de talweg} / \text{surface}$  : fréquence des talwegs élémentaire.

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes :

$I_e > 10\%$ .

IP>300.

### I.3.5- Méthodes liées à la mesure de la turbidité :

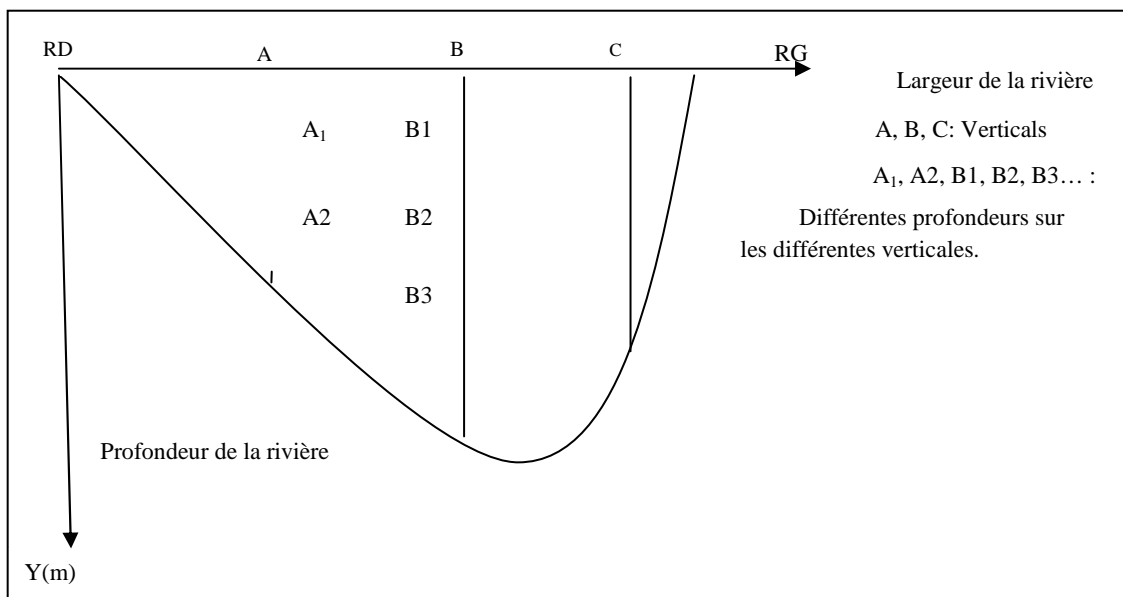
La mesure de la turbidité de l'eau peut être reliée à la quantité de sédiments arrachés au bassin versant.

En vue de sa mesure, des prélèvements d'échantillons par des équipements spéciaux au droit de la station de jaugeage, à différentes positions se font parallèlement au jaugeage de débit au moulinet.

Sur un certain nombre de points répartis sur plusieurs verticales A, B, C, D... d'une section, on mesure simultanément la vitesse "V" du courant avec un moulinet et la concentration "C" en g/l des matériaux en suspension.

En reportant cette section à un système "XoY" avec en abscisse la largeur de la rivière " rive droite au rive gauche" et en ordonnée les profondeurs à partir de la surface d'eau, n'importe quel point de mesure sera identifié (Voir Figure. I.2).

Sur chaque verticale, on représente le débit solide rapporté à l'unité de surface "qs" qu'est le produit de concentration "C" par la vitesse "V" mesurés aux différentes profondeurs par des vecteurs horizontaux, dirigés dans le sens du courant pour une verticale donnée (Voir Figure. I.3).



**Figure. I.4** : Répartition des verticales

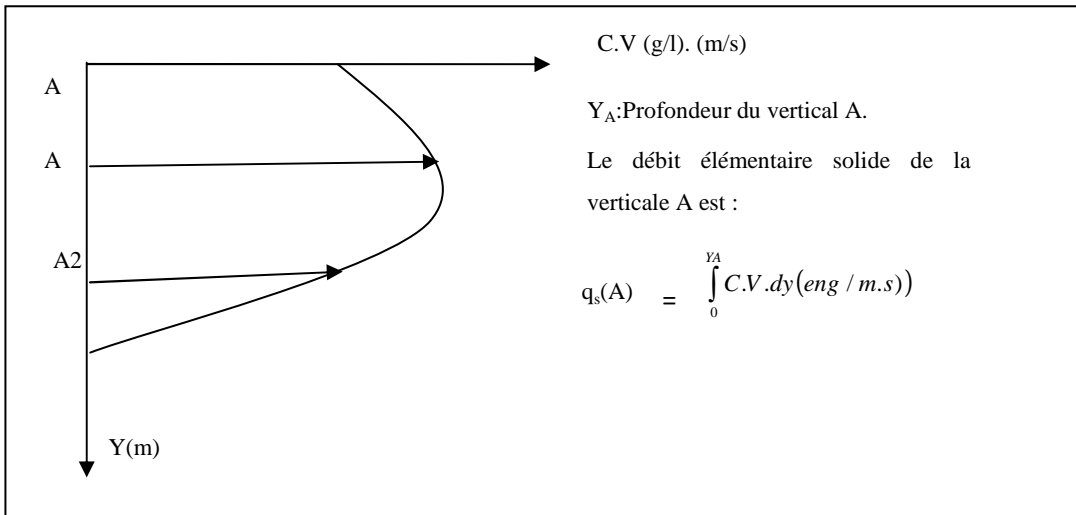
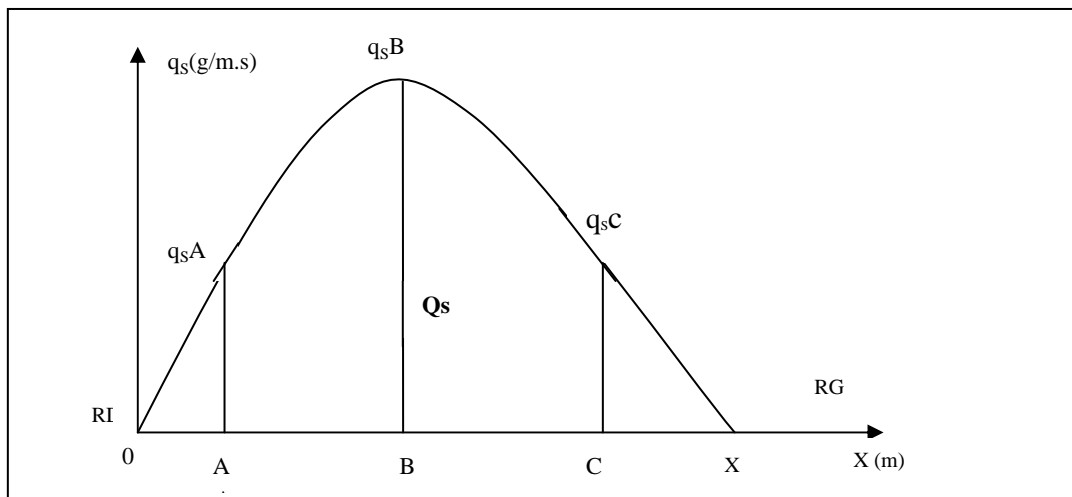


Figure. I.5: Epure des vitesses

De même pour les autres verticales.



Figure(1.6) : Epure du débit solide sur toute la section de mesure.

détermine graphiquement le débit solide en suspension par unité de largeur de la rivière, au droit d'une verticale.

Le débit solide en kg/s, n'est que l'intégration des différents débits élémentaires des différentes verticales. Représentés un système "XoY" où x représente la largeur de la rivière, et y le débit élémentaire "q<sub>s</sub>", le débit solide total Q<sub>s</sub> est planimétrie. C'est la surface comprise entre la courbe des débits élémentaires et l'axe X, comme montre la figure 1.4

$$Q_s = \int_0^X q_s(x) dx . \text{en kg/s ou en tonne/an}$$

Pour la détermination de la concentration des matériaux en suspension, les prélèvements d'eau sont filtrés sur les filtres pesés au préalable. Sèches à 100 °C à l'étuve et par double pesés, le poids des matériaux en suspension est déterminé et ramené à l'unité de volume (g/l, kg/m<sup>3</sup>), après calcination de la matière organique si elle existe.

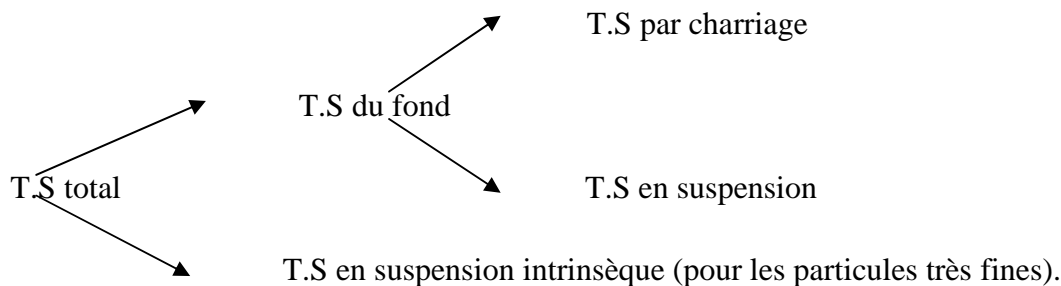
## II- Le transport solide :

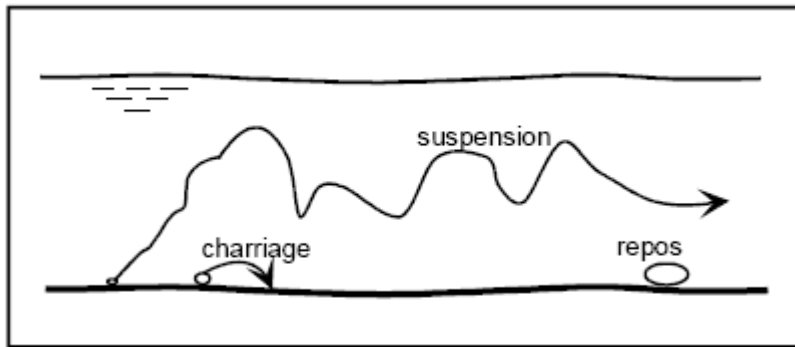
Le transport des sédiments représente un phénomène très important de l'hydraulique fluviale. Toutefois, ce phénomène est très complexe son étude ne peut être menée théoriquement que dans les cas simples ou simplifiés. Les formules obtenues se basent sur des résultats expérimentaux assez limités et sont utilisées avec beaucoup de prudence et dans les conditions hydrauliques pour les quelles chacune a été établie.

Le transport solide dans cours d'eau constitue la seconde phase de l'érosion, la dynamique des matériaux arraché au sol et transportés par le réseau d'écoulement dépend essentiellement par le champ d'exploitation des vitesses varie tout au long du profil de l'oued amont en aval. Pour les vitesses plus élevées, les matériaux solides se déplacent sur le fond en roulant, En glissant ou en effectuant des bonds successifs: ce phénomène est appelé charriage.les grains se déplacent à une vitesse nettement inférieure à celle de l'eau. Moins d'un mètre par heure. Pour des vitesses encore plus élevées, les matériaux prélevés sur le fond sont emportés par le courant : le phénomène est appelé transport en suspension. Les grains se déplacent à la vitesse de l'eau au voisinage du grain. La capacité de transport est liée à la nature granulométrique des matériaux et varie dans le temps et dans l'espace avec le débit liquide.

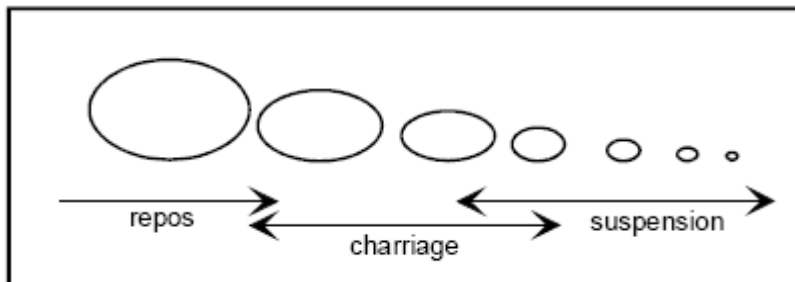
La répartition entre le charriage et la suspension dépend essentiellement de la dimension des matériaux rapportés à la, vitesse de l'eau et la turbulence de l'écoulement.

On classe habituellement le transport de sédiments en différent modes correspondant à des mécanismes physiques de base relativement distincts.





**Figure( I-7) :** Mode de transport solide en hydraulique



**Figure( I-8 ):** Mode de transport des sédiments selon leur taille

### II-1- Description des mécanismes de transport solide :

On distingue classiquement charriage et suspension, alors qu'il y a en fait continuité entre les deux phénomènes et que la limite est forcément arbitraire. Le charriage est le mouvement des particules solides près du fond par roulement ou saltation. Ce sont surtout la trainée et la portance liées au champ moyen des vitesses qui sont responsables de leur trajectoire, la turbulence y joue un rôle secondaire. La suspension est le mouvement des particules solides au sein de l'écoulement, ce sont les fluctuations verticales des vitesses et les vitesses moyennes longitudinales qui sont surtout responsables de leur trajectoire. La suspension est toujours associée à du charriage. Lorsqu'il y a des particules d'une taille donnée en suspension, il y en a également en

A champ hydrodynamique identique, les particules en suspension sont plus petites que les particules se déplaçant exclusivement par charriage. Si on augmente le débit, une particule va tout d'abord rester au repos car l'écoulement n'a pas assez d'énergie pour la mettre en mouvement, c'est-à-dire celle nécessaire pour faire passer son centre de gravité au-dessus la particule immédiatement à l'aval. Ensuite, la particule est charriée par roulement puis par sauts. Lorsque le débit liquide est suffisant pour que les fluctuations verticales de vitesse puissent compenser la vitesse de chute des particules, ces dernières sont transportées en suspension.

Tous ces transferts d'énergie ne sont pas instantanés, et induisent des inerties dans la répartition de l'énergie mécanique dans chacun des trois compartiments de l'écoulement : le champ moyen, le champ turbulent et les particules en mouvement.

## II-1- Transport par charriage :

Le charriage est un mouvement des grains près du fond par roulement ou glissement des grains les uns sur les autres ou par petits sauts. Le charriage est un déplacement mais bien sur pour qu'il y ait déplacement il faut qu'il y ait d'abord arrachement du grains. ces déplacements sont dus à la traînée et à la portance.

Les particules charriées se déplacent sous l'effet des actions hydrodynamiques exercées par l'écoulement d'eau. Le transport solide par charriage concerne plutôt les particules grossières, typiquement de diamètre supérieur à 0,5mm.

Le charriage dit transport de fond, constitue un sérieux problème en régularisation des débits de cours d'eau, et dans la construction des ouvrages hydrotechniques.

### II.1.1- Description du phénomène :

Sur le lit des matériaux sans cohésion, les grains isolés sont soumis aux forces de pesanteur et aux forces hydrauliques.

Les forces de pesanteur sont des forces stabilisatrices.

Les forces hydrauliques sont des forces déstabilisatrices dues à l'écoulement (traînée et portance).

La grandeur physique explicative de ce mode de transport (charriage) est la contrainte hydrodynamique critique  $\tau_c$ .

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  $\tau$  dépasse la valeur de la contrainte critique  $\tau_c$ .

Ce mouvement de granulats se traduira par un transport sur le fond dans le sens de l'écoulement.

La contrainte sur le fond de la rivière est exprimée par :

$$\tau = \rho g R h_j \quad (\text{N/m}^2) \quad (\text{I.7})$$

Avec :

$\tau$ : La contrainte sur le fond de la rivière (N/m<sup>2</sup>).

J: Perte de charge régulière de l'écoulement (m/m).

$\rho$ : Masse volumique du liquide (Kg/m<sup>3</sup>).

R<sub>h</sub>: Rayon hydraulique (m).

g: Accélération de pesanteur (m<sup>2</sup>/s).

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

Vu la complexité de mesure, le charriage n'a pas été mesuré, les valeurs utilisées dans la quantification sont inspirées de travaux réalisés par des chercheurs.

Jusqu'à présent, les formules de détermination du débit solide charrié ne donnent de résultats satisfaisants que dans un domaine limité de valeurs des paramètres.

L'application de ces formules doit se faire avec beaucoup de prudence, en général, il faut rester dans le domaine de valeurs des paramètres pour les quels la formule utilisée a été établie.

Il existe un nombre considérable de formules qui permettent de calculer le débit charrié, mais sont rare celles qui donnent plus au moins de bon résultats dans le cas particulier des cours d'eau naturels.

#### II.1.1.1- Formule de Schoklitsch :

Schoklitsch a proposé deux formules empiriques, l'une en 1934 et l'autre en 1950, présentent la plus récente.

$$q_s = \frac{2,5}{s} j_e^{3/2} (q - q_c) \quad (I.8)$$

$q_c$  le débit liquide critique caractérise le début de l'érosion, il est donné par la formule suivante :

$$q_c = 0,26(ss-1)^{5/3} \frac{d^{3/2}}{j_e^{7/6}} \quad (I.9)$$

Valable pour  $d \geq 6$ mm. Pour un mélange de granulométrie non uniforme on prend  $d = d_{40}$  comme diamètre équivalent.

La formule de SCHOKLITSCH s'applique à des diamètres de grains plutôt importants  $d \geq 6$ mm, à peu près uniformes et pour des pentes du fond plutôt moyennes à importantes (0.003 à 0.1).

### II-1.1.2- Formule de MEYER-PETER et MÜLLER :

En analysant plusieurs formules empiriques obtenues en laboratoire, mais en vérifiant les conditions de Froude, que MEYER-PETER et MÜLLER ont obtenu en 1948

Leur dernière formule.

$$0,25\rho^{1/3} g_s'^{2/3} = \gamma Rh \zeta_M j_e - 0.047(\gamma_s - \gamma) \quad (I.10)$$

Cette formule présente l'avantage d'être homogène et de rester valable pour des matériaux de granulométrie largement étendue.

En posant :

$$\tau' = \zeta_M \gamma Rh j_e \quad \text{et} \quad \tau_c = 0.047(\gamma_s - \gamma)$$

Il vient :

$$g_s' = 8 \sqrt{\frac{1}{\rho}} (\tau' - \tau_c)^{3/2} \quad (\text{Kg/s})$$

Où :

$g_s' = g_s (\gamma_s - \gamma) / \gamma_s$  est le débit solide en poids dans l'eau et  $g_s / \gamma_s = q_s$  est le débit solide volumique net ( m<sup>3</sup>/s/m ) :

$$q_s = 8 \left( \frac{1}{\gamma_s - \gamma} \right) \sqrt{\frac{1}{\rho}} (\tau' - \tau_c)^{3/2} \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (I.11)$$

Ou sous la forme suivante :

$$q_s = 8 \sqrt{g(s_s - 1)d^3} (\tau^{*'} - \tau^{*c})^{3/2} \quad (I.12)$$

Rh : est le rayon hydraulique du lit.

$\tau^{*'}$  : est la force tractrice adimensionnelle corrigée.

$\tau^{*c}$  : est la tension adimensionnelle critique de frottement.

$\zeta_M$  : est un paramètre de rugosité donnée par :  $\zeta_M = (K_s / K'_s)^{3/2} \quad (I.13)$

$K_s$  : rugosité totale du lit, évaluée avec la formule de MANING-STRICKLER

$$K_s = \frac{U}{R_h j^{1/2}} \quad (\text{I.14})$$

$K_s$  : est la rugosité due aux granulats, évaluée au moyen de la formule de STRICKLER.

$$K_s = \frac{26}{d_{90}^{1/6}} = \frac{21.1}{d_{50}^{1/6}} \quad (\text{I.15})$$

Pour une granulométrie non uniforme, on prend le diamètre moyen,  $d=d_{50}$ , comme diamètre équivalent.

Lorsque le fond est plat (s'il n'y a pas d'ondulation)  $\zeta_M=1$ , par contre, en présence d'ondulations (dune ou rides) une partie de l'énergie se dissipe en rugosité de forme, on prend  $0.35 < \zeta_M < 1$

La formule a été établie en canal pour des écoulements uniformes de 1 à 5000 l/s sur des granulats de 0.4 à 30 mm, de granulométrie tantôt uniforme tantôt étendue, et pour des pentes comprises entre 0,0004 et 0,024. La profondeur du canal dans les expériences allait de 1 à 120 cm. La gamme de  $\rho_s/\rho$  couverte allait de 7,25 à 4,22.[2]

La formule de Meyer-Peter et Muller a subi des extrapolations sur d'autres conditions pour représenter mieux le phénomène.

Il est donc recommandé de n'utiliser cette formule que pour des granulats plutôt grossier,  $d > 2$  [mm], à granulométrie uniforme et non uniforme, et pour une gamme de pentes de fond allant de 0.0004 à 0.024.[10]

### III.1.1.3- Formule d'Einstein-Brown (1950):

Einstein étudia le problème du charriage par la méthode des paramètres hydrauliques significatifs. Il suppose que le mouvement d'un grain s'effectue par bonds dont la longueur et la fréquence dépendent de ses dimensions, le nombre et le volume des particules en mouvement donnent alors le débit solide de charriage. Il considère ensuite la probabilité pour qu'une particule commence à se déplacer dans un intervalle de temps donné.

La formule est donnée par :

$$\Phi = 40 \left( \frac{1}{\psi} \right)^3 \quad \text{pour} \quad \frac{1}{\psi} \geq 0.09 \quad (\text{I.16})$$

Avec :

$$\frac{1}{\psi} = \frac{\tau}{(\rho_s - \rho)gd}, \quad \tau = \rho g R_h j \quad (\text{I.17})$$

$$\Phi = \frac{g_s}{\rho_s g F \sqrt{g(s_s - 1)d^3}} \quad (\text{I.18})$$

$$F = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{g(s_s - 1)d^3}} - \sqrt{\frac{36v^2}{g(s_s - 1)d^3}} \quad (\text{I.19})$$

Cette formule est confirmée pour des granulats de diamètre  $d$  allant de 0.3 à 7mm en laboratoire.

D'où la formule :

$$q_s = 40F \sqrt{g(s_s - 1)d^3} \tau^* 3 \quad (\text{I.20})$$

## II.2- Transport par suspension :

Le transport par suspension est le deuxième type de transport solide dans un cours d'eau. Il concerne les éléments fins. Qui progressent dans le sens du courant au même du liquide

Ces éléments fins sont maintenus en suspension par la turbulence. La quantité de ces matériaux dépend essentiellement des éléments fins, provenant de l'érosion du bassin, suite au ruissellement des eaux de pluie.

Le concept le plus utilisé pour expliquer théoriquement le transport en suspension est le concept de diffusion-convection, qui donnera la distribution verticale de la concentration locale  $C(z)$  de particules en suspension.

La concentration n'est jamais parfaitement uniforme. Mais l'équilibre entre le flux ascendant et le flux descendant des granulats brassés dans l'agitation turbulente du liquide lui donne une valeur moyenne constante, qui dépend de la cote  $Z$  à laquelle on la mesure au dessus du fond.

La fonction  $C(z)$  a été déterminée par M.P. O'BRIEN en 1933. l'échange verticale des particules solides du à la diffusion turbulente et le mouvement gravitationnel exprimé pour la vitesse de chute  $W$  à la cote  $Z$  est donnée par l'expression suivante : [2].

$$CW + \varepsilon_s \frac{dC}{dz} = 0$$

Cette égalité est l'équation de base de la suspension des sédiments dans la théorie de la turbulence. Elle exprime que, à tout niveau,  $z_s < z < h$ , il y a équilibre (verticale) entre le mouvement dans le sens de gravité et le mouvement du au gradient d concentration dans le sens contraire.

Où  $\varepsilon_s$  est le coefficient d'échange turbulent qui caractérise l'aptitude des granulats à passer de part et d'autre d'un plan horizontal fictif.  $\varepsilon_s$  est analogue (mais pas forcément égal) au coefficient d'échange turbulent  $\varepsilon$  des molécules liquides.

Pour des faibles concentrations, il est admis en général que :  $\varepsilon_s = \varepsilon$

Il résulte des théories modernes de l'écoulement turbulent de Prandtl et de Von Karman, que la loi de répartition des vitesses dans la hauteur du liquide est une loi logarithmique :

$$\frac{du}{u^*} = \frac{dz}{kz} \quad (\text{I.21})$$

$K$  : paramètre de VON KARMAN.

Et que le coefficient d'échange turbulent des molécules liquides  $\varepsilon$  a pour valeur :

$$\varepsilon = u_*^2 \left( \frac{du}{dz} \right) \quad (\text{I.22})$$

On obtient donc l'expression suivante :

$$\frac{dC}{C} + \frac{w}{ku_*'} \left( \frac{h}{h-z} \right) \frac{dz}{z} = 0 \quad (\text{I.23})$$

En admettant qu'il y a peu de granulats en suspension pour qu'on puisse considérer que  $w$  est indépendante de la concentration, l'intégration de cette équation différentielle donne :

$$\frac{C}{C_0} = \left( \frac{h-z}{z} - \frac{z_0}{h-z_0} \right)^{w/ku_*'} \quad (\text{I.24})$$

En désignant par  $h$  la hauteur du liquide qui s'écoule, et par  $C_0$  la concentration à un niveau de référence  $z_0$  au-dessus du fond.

Cette équation donne donc la distribution de la concentration relative,  $C/C_0$ , pour une seule taille de particule,  $w$ .

### II.2.1- Description du phénomène :

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

A partir de ce moment, les particules ne suivent plus une trajectoire définie ; mais elles suivent des trajectoires aléatoires dans l'épaisseur du fluide.

La formule de W.Kresser définit le critère d'apparition des phénomènes de suspension qui consiste à définir la vitesse "U" d'écoulement du liquide, par laquelle la poussée de ce dernier sur les grains de diamètre "D" permet la mise en suspension des grains quartzeux de 0,2 à 0,85 millimètres de diamètre dans des écoulements naturels de rivières.

$$U^2 = 360 \cdot \gamma \cdot D \quad (I.25)$$

Avec :

$$U = C\sqrt{hj} \quad \text{et} \quad \tau = \gamma j h \quad \text{d'où} \quad \tau = 360 \left(\frac{\gamma g}{C^2}\right) D$$

$\tau$  : Tension tangentielle de l'écoulement (N/m<sup>2</sup>).

$\gamma$  : Poids volumique du liquide (N/m<sup>3</sup>).

C : Coefficient de Chezy.

h : Hauteur du liquide (m).

J : Perte de charge régulière (m/m).

U : Vitesse de l'écoulement (m/s).

D : Diamètre des grains (mm).

g : Accélération de pesanteur (m<sup>2</sup>/s).

### III.2.1.1- Formule d'Einstein :

Il existe plusieurs méthodes pour calculer le transport en suspension, présentons celle qui est la plus utilisée : la formule d'Einstein (1950).

Einstein développé une formule qui permet de calculer le débit solide volumique en suspension en exprimant la distribution de la vitesse avec la formule logarithmique, et après plusieurs manipulations mathématiques il a pu obtenir la forme finale suivante :

$$q_{ss} = 11,6 C_0 u_*^* z_s \left[ 2,303 \log \left( 30,2 \frac{h}{\Delta} \right) \right]^{j_1 + j_2} \quad (I.26)$$

Où  $j_1$  et  $j_2$  sont des intégrales évaluées numériquement (abaques) pour diverses valeurs de  $AE, \zeta$ , tel que :

$$\zeta = w/k u^* \quad (I.27)$$

$$\Delta E = z_s/h \quad (I.28)$$

$\zeta$  : l'exposant de ROUSE

$\Delta$  : un terme correcteur

$Z_s$  : la cote du niveau au dessous duquel se trouve le charriage.

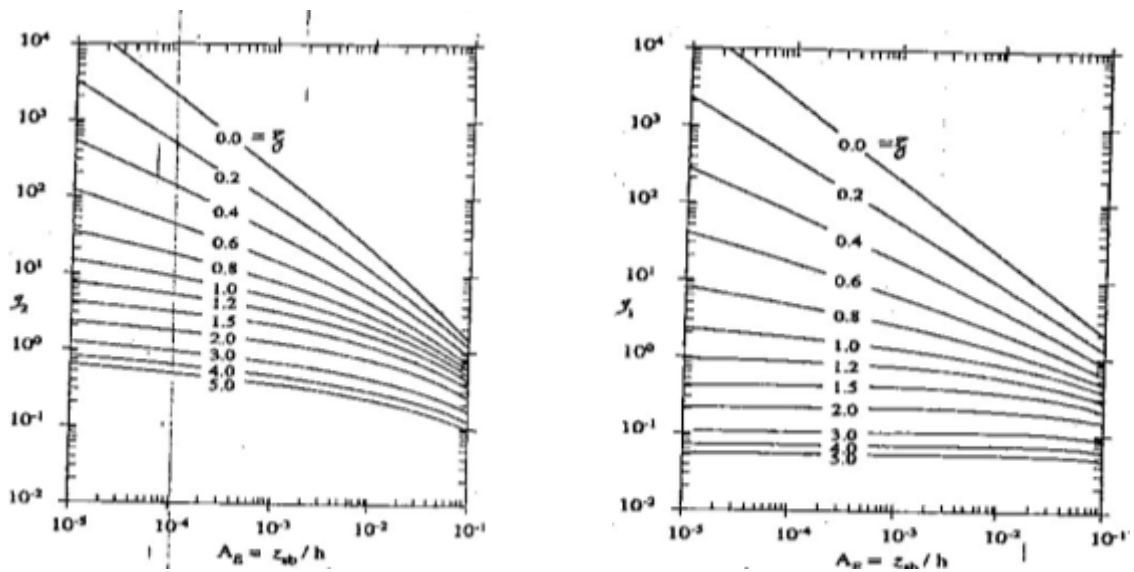


Figure (I-9) :Intégral de j1et de j2 utilisée dans la méthode d'EINSTEIN

### II.2.1.2- Méthode statistique :

C'est une méthode de quantification automatique des apports solides à partir des débits liquides. Le principe de la méthode consiste en la recherche de relation entre le débit solide et le débit liquide.

Ou  $q_{ss}$  est le débit solide en Kg/s,  $q$  est le débit liquide en m<sup>3</sup>/s et  $a_0$  et  $a_1$  deux paramètres à déterminer a partir des séries observées.

### II-3- Caractérisation de la phase solide :

Le transport solide sédimentaire dépendra obligatoirement du type de matériaux en présence. De plus la granulométrie du sol, joue un grand rôle dans le phénomène du transport solide.

Nous allons nous intéresser aux sédiments et à la définition de leurs caractéristiques physiques et hydrauliques essentielles, à savoir :

La taille de la particule, donnée par la courbe granulométrique.

La forme des particules.

La masse volumique des particules  $\rho_s$ .

Vitesse de chute  $w$ .

Tous ces paramètres peuvent varier le long du canal. De plus, ils dépendent du type de prélèvement et d'analyses d'échantillon.

### **II.3.1- classification des sédiments :**

Le sol d'un lit est très diversifié et est composé de limon et vases, argile, sable, gravier, galet et bloc. Leur classification est donnée selon le tableau suivant :

**Tableau( I-2) : Classification des sédiments d'un lit(classification Algérienne).**

Diamètre	désignation	observation
$d < 0.5\mu$	Colloïdes (vase et limons)	Cohérentes, compressibles, non élastiques, lisses, difficiles à éroder.
$0.5\mu < d < 5\mu$	argile	
$5\mu < d < 64\mu$	silt	
$64\mu < d < 2\text{ mm}$	sable	
$2\text{ mm} < d < 20\text{ mm}$	gravier	Morceaux de roche plus ou moins roulés.
$20\text{ mm} < d < 300\text{ mm}$	galet	
$300\text{ mm} < d$	blocs	

Les matériaux du fond sont remués et reclassés sans arrêt. Cependant, à partir d'un profil d'équilibre, on constate que suivant la morphologie des fonds, on trouvera une répartition différente des sédiments.

### II-3-2- Granulométrie :

Les sédiments non cohésifs (particule solide) qui forment le lit d'un cours d'eau sont en général de taille variable, représentés par une courbe granulométrique des matériaux du lit. Cette courbe représente les proportions en poids de granulats inférieurs à chacun des diamètres des mélanges de granulats.

La courbe granulométrique du lit est obtenue par échantillonnage .Il est recommandé de prendre plusieurs échantillon dans différentes sections du cours d'eau à l'étude puis d'établir une courbe moyenne.

Chaque échantillon doit être prélevé jusqu'à une profondeur d'érosion maximale anticipée ,soit

autour de 0.70 m de profondeur

A partir de cette courbe on peut tirer les différents diamètres caractéristiques d'un sol :

Le diamètre médian du mélange ( $d_{50}$ ) : correspond au diamètre supérieur ou égal au diamètre de la moitié des granulats du mélange.

Le mode du mélange : le diamètre correspondant au sommet de la courbe de fréquence granulométrique du mélange.

Le diamètre moyen du mélange : la moyenne pondérée des diamètres individuels des granulats d'après leurs proportions respectives dans le mélange.

Le diamètre  $d_n$  : le diamètre pour lequel la courbe de répartition des granulats du mélange comporte  $n\%$  de matériaux d'un diamètre inférieur.

## **II-4- Début d'entraînement des sédiments :**

### **V-4-1- Début d'entraînement des sédiments en suspension :**

Le début de transport des particules en suspension est un problème plus complexe. Rappelons que ce mode de transport se base sur la théorie de la turbulence, et l'analyse de cette théorie montre le caractère aléatoire du mouvement des grains.

La plus part des critères se base sur la comparaison de la vitesse de frottement  $u^*$  à la vitesse de chute des particules solides  $w$ . En se basant sur des résultats expérimentaux et sur des considérations théoriques, Bagnold (1954) et Engelund (1965) indiquent que les particules solides ne peuvent être suspendues que si :  $u^*$  dépasse la vitesse de chute soit : [2]

$$u_*/w \geq 1 \quad (\text{I.40})$$

Graf(1971) suggère que le transport en suspension commence si

$$u_*/w \geq 0.4 \quad (\text{I.41})$$

Rijin (1984) propose ce qui suit :

$$\frac{u_*}{w} > \frac{4}{d^*} \quad \text{Pour } 1 < d^* \leq 10 \quad (\text{I.42})$$

$$\frac{u_*}{w} > 0.4 \quad \text{Pour } d^* > 10 \quad (\text{I.43})$$

### II-4-2- Début d'entraînement des sédiments sur le fond :

Pour les différents modes de transport, il est utile, bien que compliqué, de faire la délimitation entre ces modes.

Ces types de transport ne concernent pas les mêmes particules. En fonction de l'écoulement, et plus particulièrement de la contrainte exercée sur le fond, il y aura soit du charriage soit de la suspension soit les deux modes.

Sheilds a montré expérimentalement en 1936 que pour une granulométrie uniforme, la loi de mise en mouvement des grains pouvait s'exprimer par une relation entre  $\tau^*$  et le nombre de Reynolds.[6]

$$\tau^* = \frac{\gamma_w R i}{(\gamma_s - \gamma_w) d} \quad (I.44)$$

Avec :

R : rayon hydraulique.

i : pente de l'écoulement.

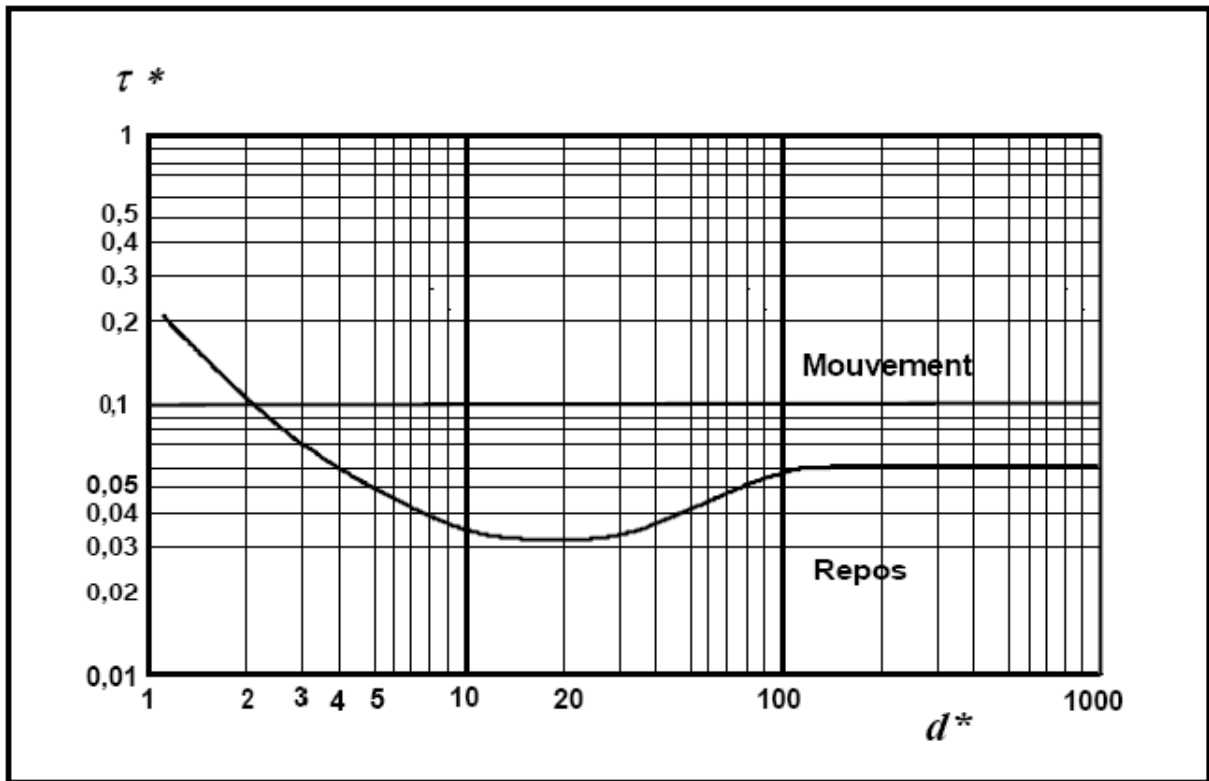
$\gamma_s$  : poids volumique spécifique des grains solides est de 26 à 27KN/m<sup>3</sup>.

$\gamma_w$  : poids volumique de l'eau 10KN/m<sup>3</sup>.

d : diamètre du grain.

Aussi, proposons-nous la présentation de Yalin 1972 qui a transformé la relation de Sheilds en une relation entre  $\tau^*$  et  $d^* = d \left[ \frac{(\gamma_s - \gamma_w) g}{\gamma_w v^2} \right]$ . Cette relation apparait dans la figure I-10.

La figure I-10 montre donc qu'à 20°C, le matériau correspondant au faible paramètre de Sheilds a pour diamètre environ 0,8mm.



Figure(I-10 ) : diagramme de Yalin-Sheilds (d\* en m)

Au départ, seuls les matériaux fins se mettent en mouvement et forment des rides qui progressent dans le sens de l'écoulement. Si la vitesse augmente, il y a formation de dunes qui progressent dans le sens de l'écoulement. Puis le lit s'égalise, il y a mise en suspension des particules après saltation. Enfin, on peut observer des antidunes qui remontent le courant.

Ainsi, selon le régime, le charriage au fond peut s'effectuer sur le lit plat, sur des rides ou au-dessus de dunes.

Finalement, grâce à une classification plus simple on peut déterminer le mode de transport solide selon les valeurs de  $\tau^*$

Tableau( I-3) :Classification de Ramette

$\tau^*$	0.01 à 0.05	0.05 à 0.25	0.25 à 2.50	2.50 à 10
Mode de transport	Transp ort nul	Charria ge prépondérant	Charria ge et suspension	Suspen sion prépondérante

### **III-L'alluvionnement dans les réservoirs et les moyens de lutte contre ce phénomène :**

#### **III-1-Les facteurs conditionnels de l'engravement des réservoirs :**

Un réservoir s'envasera d'autant plus rapidement que sa capacité  $V$  faible vis à vis du débit solide

$Q_s$ , apporté par le cours d'eau qui alimente le réservoir, étant dans une région déterminée approximativement proportionnel au débit liquide lui-même est relié à la superficie  $S$  du bassin versant par une loi linéaire.

Il est nécessaire de caractériser un réservoir par sa capacité (spécifique) en  $m^3/km^2$  du bassin versant.

#### **Les apports solides venant de l'amont sont fonction essentiellement :**

- De la surface de la topographique et de la nature géologique du bassin versant
- Du régime des pluies et de la température
  - De la résistance à l'érosion du sol, liée à sa teneur en eau et à son couvert végétal (foret, pâturages, culture)

Une partie du débit solide  $Q_s$  du cours d'eau est évacuée à l'aval du barrage, soit du fait de l'exploitation normale soit par manœuvres de chasse.

Le réservoir se dévasera d'autant plus rapidement qu'ils comporteront de plus grandes vannes au niveau du fond du lit naturel.

Une retenue de faible longueur et de forte pente, engravée de matériaux peu cohérents et de granulométrie moyenne, sera évidemment plus facilement débarrassée de ses dépôts qu'une cuvette plate encombrée de vase consolidés sous de grandes hauteurs d'eau.

#### **III-2-Mécanisme de formation des dépôts dans le réservoir :**

Les observations ont montré que dès l'entrée d'un cours d'eau à débit solide important  $Q_s$  dans le remous d'un barrage, dont la cote de retenue est maintenue constante s'amorce une sorte de plateau sous lacustre faiblement incliné dans le sens du courant, le front aval de ce plateau, qui présente un talus assez raide (analogue à celui d'un remblai exécuté par décharge à l'avancement) progresse peu à peu dans la retenue et en l'absence de toute manœuvre de chasse atteint le barrage au bout d'un temps plus ou moins long.

Le delta qui comporte peu d'éléments fins est formé en majeure partie par le matériau charrié sur le fond de la rivière (galets, graviers, sables grossiers).

Les vases et limons en suspension dans l'eau se déposent généralement en aval du delta. Suivant leur granulométrie et la topographie des lieux, la répartition des dépôts correspondants est alors plus ou moins uniforme dans l'ensemble de la retenue.

Exceptionnellement les limons peuvent créer des courants de densité ou (underflow) constitués par un écoulement d'eau turbide au sein des eaux relativement claires de la retenue, ces eaux troubles peuvent cheminer sur le fond du réservoir et venir s'accumuler dans sa partie aval en formant un petit lac de boue surmonté par l'eau claire de la tranche supérieure, qui se consolide peu à peu, ainsi pourraient s'expliquer les nappes de vase à surface presque horizontale atteignant des dizaines de mètres d'épaisseur au droit du barrage. Dans d'autres cas le courant de densité semble cheminer entre deux eaux et peut au voisinage du barrage, se

relever pour atteindre les ouvrages de prise d'eau ou d'évacuation des crues.

### **III-2-1-Dépôts formés par les matériaux charriés :**

L'évolution du delta à l'amont peut être schématisée ainsi : lors des crues le front du plateau avance vers le barrage ; sa pente diminue, son extrémité aval forme un talus d'éboulement lorsque le débit conserve sa valeur moyenne on observe un alluvionnement régressif; la pente du plateau augmente après un certain temps mais assez lentement. L'abaissement du plan d'eau entraîne l'avancée du plateau vers le barrage tandis que son élévation augmente l'alluvionnement vers l'amont. Le remblaiement acquiert son intensité maximum dans les

zones à fortes vitesses mais celles-ci se déplacent du fait de ce remblaiement lui-même, ce qui tend à égaliser les dépôts.

La divagation des courants limite l'efficacité des chasses dans les retenues de grande largeur car le débit au lieu de se répartir également sur toute celle-ci (la largeur) se concentre en quelques bras à fort débit par mètre qui creusent dans les dépôts de véritables canyons dont les berges s'éboulent plus ou moins il faut rattacher à ce phénomène, la formation d'îles que l'on n'observe parfois vers la limite du remous des barrages spécialement dans les parties en courbe du cours d'eau

### **III-2-2- Dépôts formés par les matériaux transportés en suspension :**

Les matériaux fins en suspension dans l'eau se déposent suivant leur grosseur dans la région de la retenue où la vitesse et la turbulence sont suffisamment amorties. Dans la zone du plateau sous lacustre ou

ne rencontre jamais de vases et de limons que sur la berge à faible pente, le plus souvent elles se rassemblent au fond de la cuvette à l'aval du front des matériaux charriés et tendent à se concentrer au pied du barrage.

Dans les retenues de faibles importances par rapport au débit d'alimentation surtout si elles sont étroites et de faible longueur les matières en suspension dans l'eau n'ont pas le temps de se déposer complètement et sont partiellement transportées à l'aval à travers les ouvrages de prise et d'évacuation des crues.

Il arrive parfois que les matières en suspension, au lieu de se déposer plus ou moins complètement dans toute la masse du réservoir, se concentrent en un courant de densité ou (underflow) qui peut couler soit superficiellement, soit entre deux eaux suivant sa densité par rapport à l'eau qui l'entoure.

L'intérêt pratique de l'étude systématique des courants de densité réside dans la possibilité de les utiliser pour évacuer à l'aval du barrage les matières en suspension qu'ils transitent sans dépôts à travers la retenue.

A cet effet, il conviendrait de prévoir plusieurs vannes (reparties sur toute la largeur de la partie inférieure du barrage) de hauteur relativement faible vis à vis de l'épaisseur du courant de densité ; celles-ci seraient ouvertes particulièrement pendant et après les crues pour soutirer les eaux à fortes concentrations apportées par l'underflow à la rigueur dans les barrages existants on pourrait utiliser dans ce but les vannes de vidange bien que leurs nombres, leurs dimensions et leurs emplacements soient rarement adaptés à ce rôle.

### **III-3-Méthodes de calcul :**

#### **III-3-1-Sédimentation dans la retenue :**

La sédimentation est due au débit solide des cours d'eau amont, qui résulte lui-même de l'érosion générale du sol et de l'attaque des berges et du lit des cours d'eau. Bien qu'il existe différentes méthodes pour réduire la production de sédiments dans le bassin versant et le cours d'eau, l'apport de matières solides par les affluents ne peut être influencé de manière significative sur le long terme.

Il est difficile de fixer l'intensité de la pluie susceptible de provoquer l'entraînement des particules solides, car la résistance du sol est changeante dans l'espace et dans le temps (Beyer Portner 1998).

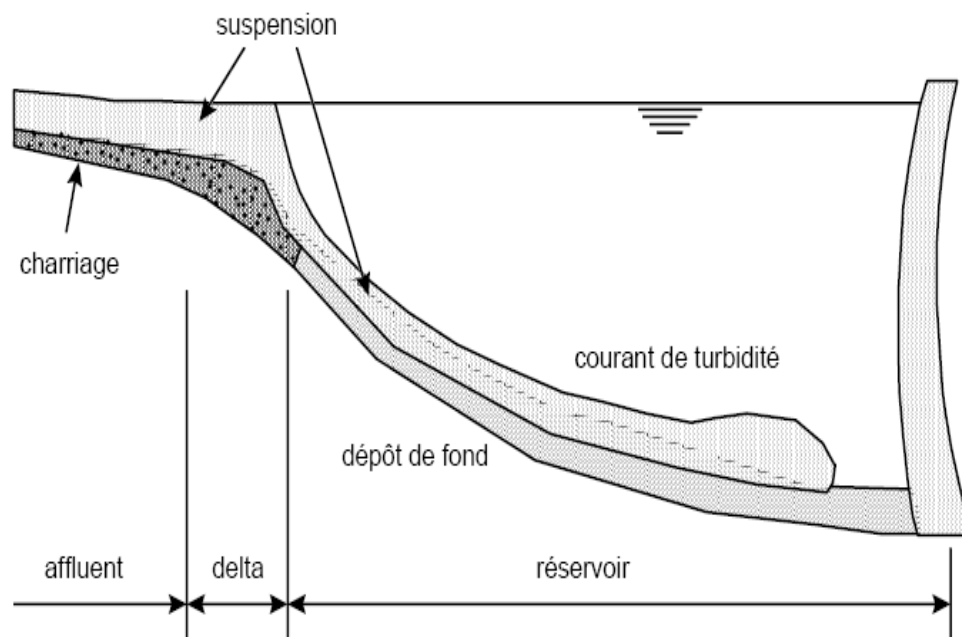
Thévenin (1960) donne comme seuil critique d'intensité de pluie  $i$  sur 60 minutes en Algérie  $i_{60\text{min}} \geq 15 \text{ mm/h}$ , avec des pointes d'intensité sur une minute dépassant  $i_{1\text{min}} \geq 60 \text{ mm/h}$ . Selon Thévenin, ces valeurs peuvent être adoptées comme premier critère d'érosion, bien qu'il soit très difficile d'établir une corrélation générale entre la pluviométrie et l'érosion.

Sinniger et al. (1994) proposent une intensité sur 15 minutes de  $i_{15min} \geq 40$  mm/h, soit un volume de précipitation  $V_p$  d'une seule averse de  $V_p \geq 95$ mm

L'importance et la nature du débit solide sont liées d'une part à l'intensité de l'érosion hydrique et d'autre part à la capacité de transport de l'écoulement. Le transport solide peut se présenter essentiellement sous deux formes différentes, la suspension, le charriage. Dans des conditions bien déterminées, le débit solide peut être évalué par l'application de formules d'origine expérimentale dont le domaine de validité est souvent très étroit et qui ne tiennent que rarement compte de l'histoire et de la disponibilité des matériaux à transporter.

Faute de pouvoir calculer de manière exacte le débit solide en fonction du temps et de l'histoire du transport solide, il est souvent fait recours aux mesures in situ.

Celles-ci portent essentiellement sur la suspension, et le transport de fond, ce dernier type de mesure restant toutefois peu utilisé. Cet inconvénient n'a que peu d'influence sur la détermination des courants de densité, étant donné que les matériaux transportés par charriage et saltation se déposent dans la zone du delta du bassin et n'ont dès lors plus d'incidence sur la densité des courants de fond.



**Figure (I-11) :** Mode d'envasement par le courant de turbidité

Les dépôts de sédiments dans un réservoir sont ainsi composés de :

- La matière solide transportée par charriage, qui se dépose en forme de delta à l'entrée du réservoir selon son degré de remplissage.

□ La matière en suspension transportée par des courants de turbidité qui se dépose d'une manière encore à préciser dans le reste du réservoir, voir figure (IV.2)

Ce sont donc essentiellement les mesures de la charge en suspension des affluents qui permettent d'évaluer la charge d'un courant de densité dans le réservoir.

Les observations faites vont de 0.7 à 36.4 g/l [0.026 à 1.374 %] pour des bassins versants en Algérie et de 0.3 à 27.8 g/l [0.011 à 1.049%] aux Etats-Unis, selon Thévenin (1960). Marzouki (1992) mentionne des observations faites sur 17 barrages en Maroc allant jusqu'à 144 g/l [5.434 %], avec des moyennes de 3 à 21 g/l [0.113 à 0.792 %]. Des concentrations de sédiments jusqu'à 400 g/l [15.094 %] ont été mesurées dans la rivière jaune en Chine, valeur donnée par Hu (1995).

Les dépôts sédimentaires qui se trouvent dans les réservoirs peuvent être retirés, soit :

en recourant à une énergie externe comme dans le cas d'une excavation mécanique de dragage, soit :

en tirant avantage du potentiel disponible de l'eau arrêtée ou en écoulement, par le moyen de purges ou de vidanges.

Grossièrement, deux types d'exploitation sédimentologique d'un réservoir peuvent être distingués.

La régulation pluriannuelle ou saisonnière, où les sédiments peuvent se déposer librement dans le barrage et sont évacués à intervalle régulier par une vidange partielle

ou totale du bassin. C'est ce principe qui est appliqué actuellement dans la plupart des grands réservoirs.

Cette méthode est souvent à l'origine de dégâts dans le cours d'eau aval et nécessite l'arrêt de l'exploitation normale du réservoir pendant l'opération qui peut durer plus ou moins longtemps. Elle permet normalement d'équilibrer le volume de sédiments à long terme à un niveau acceptable.

□ La régulation événementielle en situation de crue, où les sédiments sont évacués à l'instant de leur arrivée dans le lac par des moyens appropriés comme le passage par un évacuateur de fond accompagné éventuellement d'un abaissement du plan d'eau.

Le principe est de réduire au minimum possible le taux de rétention des sédiments pendant la période des fortes crues caractérisées par des apports solides considérables, en maintenant le taux de rétention de l'eau élevé pendant le reste du temps. La dérivation en cas de crue d'un affluent chargé en sédiments permet d'atteindre le

même résultat. Cette méthode s'avère particulièrement utile pour les réservoirs situés sur des cours d'eau à grande variation de charge en suspension, où une seule crue peut transporter plus de 90% de la charge solide annuelle totale. Cette méthode permet de limiter au minimum le volume de sédiments accumulés et de garantir à long terme l'équilibre du cours d'eau.

Ce sont essentiellement les techniques de purge par les organes de vidange qui permettent la régulation sédiment logique d'un réservoir. L'enlèvement des dépôts par l'ouverture de la vanne inférieure d'un barrage est une méthode pratiquée dans le monde entier avec un succès très variable. L'efficacité de la chasse dépend en grande partie du niveau d'eau au moment de l'opération. Pour ne pas abaisser le niveau d'eau au moment de la chasse, elle est effectuée en charge et son effet est limité à une zone proche de l'entrée de la vidange de fond.

Une fois la vanne ouverte, une dépression en entonnoir se développe rapidement autour de l'entrée de la vidange de fond. Aussitôt que les pentes du cratère atteignent l'angle de talus naturel des sédiments, la capacité d'extraction des sédiments devient nulle.

Le soutirage des courants de densité par la vidange de fond constitue un cas spécial de purge à lac plein. Souvent considéré comme un moyen très rentable de dévasement, son application efficace nécessite des organes spécialement conçus, permettant d'évacuer de grandes quantités d'eau pendant des durées adaptées à celles des crues. La formation et le maintien des courants de densité dans le réservoir peuvent être plus ou moins favorables à ce type d'opération.

La purge peut être très efficace lorsqu'elle se pratique parallèlement à l'abaissement du niveau d'eau. L'efficacité est en relation inverse avec la hauteur d'eau. Par une évacuation continue des dépôts sédimentaires, il est possible d'éroder un canal qui peut même atteindre l'ancien lit

fluvial si les conditions favorables suivantes sont réunies :

- Abaissement complet du niveau d'eau.
- Débit de chasse suffisant.
- Durée adéquate de l'opération.

L'érosion suit en général le profil longitudinal du réservoir, mais son action latérale est assez faible. En renforçant l'opération sur les côtés à l'aide d'engins mécaniques, l'efficacité de l'extraction peut s'étendre à tout le réservoir.

L'efficacité d'une opération de vidange complète peut encore être améliorée si on dispose d'un réservoir à l'amont qui permet des lâchers d'eau pendant la vidange. La réalisation d'une chasse pendant une crue aurait un effet similaire, toutefois sans contrôle ni du débit ni de la durée.

Le traitement théorique de la chasse dans un réservoir présente de grandes difficultés vu les mécanismes complexes d'écoulement d'eau et de sédiments. Toute analyse implique nécessairement des simplifications importantes. Il est possible de minimiser les pertes d'eau avec une vidange à un niveau d'eau le plus haut possible sans pour autant perdre trop d'efficacité. L'exploitant doit donc rechercher le niveau d'eau optimal dans le réservoir (Drawdown Water Level). A profondeur d'eau non nulle et en supposant que le débit liquide

soit constant pendant la vidange, l'écoulement atteindra sa vitesse minimale près du barrage, vitesse déterminante pour l'efficacité de la chasse.

Une méthode simple pour estimer l'efficacité d'une chasse est présentée par Scheuerlein (1992).

Elle est basée sur une analyse unidimensionnelle pour un réservoir en forme simplifiée de prisme. L'analyse permet de trouver le niveau d'eau optimal dans le réservoir pour une vidange efficace en fonction d'une vitesse critique de mise en mouvement des sédiments de granulométrie spécifiée.

Le siphonnement est une autre méthode intéressante pour retirer les dépôts sédimentaires d'un réservoir sans recourir à une source d'énergie externe. Comme pour l'opération de purge,

c'est la différence de pression entre le niveau du réservoir et celui de la vanne inférieure qui fournit l'énergie. Contrairement à la purge, l'étendue du siphonnement peut être augmentée par l'utilisation d'un tuyau flexible rattaché à la vidange de fond et muni d'une tête aspirante à son autre extrémité.

### III-3-2- Vitesse de chute d'une particule élémentaire

Dans une eau calme, une particule élémentaire est soumise à trois forces : force de gravité (proportionnelle à la masse de la particule), poussée d'Archimède, résistance opposée au mouvement de la particule.

Suivant le mouvement relatif du fluide par rapport à la particule, l'écoulement sera laminaire (régime de Stokes), semi-turbulent (régime d'Allen) ou turbulent (régime de Newton-Rittinger). Ces différents régimes correspondent à des nombres de Reynolds différents.

La vitesse de chute dépend de la force hydrodynamique de résistance, définie comme suit :  $T = 3 \pi \mu dW$ , pour un régime laminaire et  $T = C_d \rho A W^2$ , pour un régime turbulent et transitoire.  $Re = Wd / \nu$ ,

avec  $W$  : vitesse de chute,  $d$  : diamètre de la particule,  $\nu$  : viscosité cinématique de l'eau (égale à  $20^\circ\text{C}$  à  $106\text{m}^2/\text{s}$  et  $3,5^\circ\text{C}$  à  $1,6 \cdot 106\text{m}^2/\text{s}$ ),  $C_d$  : coefficient de traînée.

**a)- Ecoulement laminaire (loi de Stokes  $d < 0,12\text{mm}$ )  $\text{Re} < 1$**

$$W = kd^2 = \frac{(\rho_s - \rho)}{18\rho} d^2 g$$

où  $\rho_s$  et  $\rho$  étant respectivement la masse volumique du solide et du fluide (en  $\text{kg}/\text{m}^3$  ou en  $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

**b)- Ecoulement semi turbulent (sables  $0,12 < d < 2\text{mm}$ )  $1 < \text{Re} < 500$**

Dans ce régime l'établissement des lois définissant la vitesse de chute rencontre des difficultés, mais il existe

plusieurs lois telles que la loi de Contrarov (1969):

$$W = 0.081 \log \left[ 83 \left( \frac{3.7d}{\text{dm}} \right)^{1.0037T} \right] \frac{g^{2/3}}{\nu^{1/3}} \left( \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{2/3} d$$

Où  $T$  : température,  $\text{dm}$  : diamètre maximal =  $1.5\text{mm}$ , notons que les résultats expérimentaux restent les plus représentatifs de la vitesse de chute dans un régime semi-turbulent où cette vitesse est donnée par la relation  $W = Kd$ .

De nombreuses mesures ont été faites au LCHF « laboratoire central d'hydraulique de France » sur des matériaux naturels et artificiels ayant des gammes de densités comprises entre 2.6 et 1.045, des abaques ont été élaborés permettant d'avoir directement les vitesses de chute.

**c)- Ecoulement turbulent (galets  $d > 2\text{mm}$ )  $\text{Re} > 500$**

$$W = Kd^{1/2} \text{ avec } : K = 70 \left( \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} \right)^{1/2}$$

### III-3-3- Influence de la concentration des particules :

La vitesse de chute des particules supérieures à 100microns (0.1mm) diminue lorsque la concentration de la suspension augmente. Des formules et des graphiques en été établis, dont :

a)-Formule de Famularo (1962)

$$\frac{w'_c}{w_c} = \frac{1}{1 + 1.30 cv^{1/3}}$$

b)-Formule de Burgers (1941)

$$\frac{w'_c}{w_c} = \frac{1}{1 + 6.88cv}$$

où Cv : concentration volumique.

Wc : vitesse de chute d'une particule élémentaire isolée.

/

Wc : vitesse de chute dans une eau chargée.

D'après Gandin le rapport entre les deux vitesses

W/ ;est donné par un graphe.

D'après Gandin le rapport entre les deux vitesses Wc / W est donné par un graphe

Notons que sur des éléments très fins (poudres, limons, vases et argiles) que le phénomène est plus complexe par suite de la floculation qui active la vitesse de sédimentation à certaines concentrations.

### III-2-4-Bilan des échanges érosion –sédimentation :

Le terme source représentant le bilan des processus d'érosion et de dépôt des

sédiments en suspension selon (JOBSON et SAYRE1970) et (CELIK et RODI 1988) est pris

égal à :

$$S= \alpha w(cs-c)$$

w : est la vitesse de chute.

Ce terme source dépend des conditions hydrodynamiques (hauteur, vitesse) et à la fois du coefficient  $\alpha$  et de la concentration de sable à l'équilibre  $c_s$ . Les variations de  $\alpha$  sont en général négligeables. Le coefficient  $\alpha$  est en effet souvent pris égal à 1, valeur testée par Van Rijn (1985) ou utilisée comme constante homogène de calage (Naceur2000). Nous avons, en ce qui nous concerne, choisi d'utiliser le coefficient  $\alpha$  donné par la formule de Lin et al. (1983).

$$\alpha = \frac{1}{3} \left( \frac{h}{2d_{50}} \right)^{w/k\mu\psi}$$

avec  $\psi$ , un coefficient empirique pris égal à 10,  $k = 0.40$ , constante de Von Karman et  $u^*$  la vitesse de cisaillement sur le fond:  $U^* = \frac{\sqrt{g}}{C_k} \mu$

Le coefficient de rugosité de Chézy est soit une constante, prise égale à  $60 \text{ m}^{1/2} \text{ s}^{-1}$ , soit calculé par la formule suivante :  $Ch = 18 \log (12h/3d_{90})$ .

$$C_s = \frac{d_{50} T^{1.5}}{k_s D^{0.3}}$$

$$D_0 = d_{50} \left[ \frac{(s-1)g}{\nu^2} \right]^{1/3}$$

$c_s$  : la concentration de sable à l'équilibre donnée par Von Rijn (1984).

$s$  : la densité des sédiments.

$\nu$  : la viscosité cinématique de l'eau.

$k_s$  : la rugosité équivalente.

$T$  : le nombre de Van Rijn exprimé par la formule suivante :

$$T = \frac{\tau_c - \tau_{cr}}{\tau_{cr}} = \rho \frac{Uc^2 - U_{cr}^2}{U_{cr}}$$

La vitesse de chute est calculée par la formule suivante :

$$W = \frac{10V}{d_{50}} \left( \sqrt{1 + 0.01(s-1)gd_{50}^3} - 1 \right)$$

### III-2-5-Tassement des vases

#### III-2-5-1- Sédiments grossiers ( sable , graviers, cailloux) :

Les sédiments grossiers du type sables, galets et graviers, une fois déposés sur les fonds ne se tassent pratiquement pas ; s'ils subissent une 'remise en place' et une imbrication entre eux, on peut admettre toutefois qu'ils restent quasi stables dans le temps.

#### III-2-5-2- Sédiments fins (limons-vases-argiles) :

Les éléments fins par contre sont essentiellement variables dans le temps et se tassent en perdant leur eau interstitielle. Ils se consolident et passent d'un état fluide à un état plastique, puis solide.

Après leur dernière phase de décantation gravitaire, à vitesse entravée, les flocons de vase vont commencer, sous l'évacuation de couches déposées au-dessus à se tasser en évacuant progressivement leur eau interstitielle.

Dans ces domaines de tassement, la variation de la concentration  $t_s$  répond à l'expression suivante:

$$t_s = \alpha \cdot \text{Log}t + \beta$$

Où ;

$t$  : le temps par (heure).

$\alpha$  = facteur qui dépend principalement du diamètre des particules augmentant avec la taille des particules.

$\beta$  = facteur lié au milieu aqueux.

Le tassement des sédiments dans un milieu aqueux dépend de très nombreux paramètres : nature et dimension des particules, influence du milieu aqueux, conditions de sédimentation (hauteur, concentration initiale, température).

- Influence de la nature et de la dimension des particules : Le tassement des vases, boues ou limons dépend de la dimension, de la forme et de la charge électrique des particules solides formant les dépôts. D'une façon générale la concentration moyenne du culot de tassement en eau douce naturelle, sera d'autant plus importante que le diamètre des particules élémentaires sera plus grand.

On peut estimer pour les sédiments inférieurs à  $10\mu$  que cette concentration moyenne augmente pratiquement linéairement en fonction du diamètre  $d$  (en microns) des particules selon des expressions de la forme suivante :

- après 6 mois de tassement :  $t_s(g/l)=300+80d$ .
- après 10 jours de tassement :  $t_s(g/l)=200+75d$ .
- après 10 heures de tassement :  $t_s(g/l)=150+50d$ .

Dans tous les cas, la concentration moyenne du culot de tassement variera comme il a été dit, en fonction du logarithme du temps  $t$  :  $t_s = \alpha \log t + \beta$

La valeur du facteur  $\alpha$  est une fonction croissante du diamètre qui atteint des valeurs d'autant faibles que l'on passe de la phase de tassement par décantation des flocons, aux phases d'élimination de l'eau interstitielle et de l'eau fixée aux micelles :

- décantation des blocs :  $\alpha = 0,01 + 0,05d$
- élimination des eaux interstitielles :  $\alpha' = 0,01 + 0,015d$ .
- élimination des eaux fixées aux micelles :  $\alpha'' = 0,01 + 0,001d$ .
- Influence de la hauteur de la suspension : un dépôt de sédiments très fins tend

D'autant plus rapidement vers une asymptote de tassement que l'épaisseur initiale du dépôt sera faible ; si l'épaisseur initiale du dépôt est faible, les eaux s'évacueront rapidement des couches sous-jacentes et les vases se tasseront très vite alors que le processus est inverse si les dépôts sont répartis sur de grandes hauteurs.

## II-2-6: Calcul du volume de la vase

### II-2-6-1-La formule de F.Orth

le premier à avoir décrit ce processus. C'est F.Orth ( 1934). Il suppose que la capacité résiduelle varie dans le temps en fonction d'une loi à décroissance exponentielle, c'est à dire qu'après tant d'années d'exploitation, elle est égale à :

$$C_t = C R^{N t}$$

Où :

$C_t$  : capacité résiduelle après  $t$  années de service .

CRN : Capacité de retenue normale .

$a$  : Paramètre propre à chaque retenue .

$t$  : Temps en année de service.

Toute la difficulté réside dans la détermination du paramètre «  $a$  ». dans ce but ,on se propose de résoudre le problème de la façon suivante :

On peut écrire si  $V_{st}$  étant le volume envasé après  $t$  années

$$C_t = CRN - V_{st} = CRN a^t$$

$$V_{st} = CRN(1 - a^t) \quad (3-14)$$

Si on suppose que durant la première année d'exploitation ( $t=1$ ), le volume de sédiments accumulé  $V_{s1}$  est égal à l'apport solide moyen annuel  $Q'_s$  déposé, ce dernier est donné par la relation suivante :

$$Q'_s = Q_s \times TR \quad (3-15)$$

Où :

$Q'_s$  : Apport solide annuel déposé dans la retenue .

$Q_s$  : Apport solide annuel .

TR : Taux de rétention défini pour chaque retenue.

Alors on aura :

$$Q'_s = CRN(1 - a)$$

Ce qui entraîne

$$a = 1 - \frac{Q'_s}{C_{RN}}$$

**II-6-2-2- Formule de Taylor:**

Taylor présente le processus d'envasement des barrages selon les schémas suivant:

En linéarisant les grandeurs volumétriques, Taylor a représenté la capacité initiale du barrage sous forme d'une hauteur de colonne d'eau (h) ayant une base égale à 1.0 mètre carré.

x : l'épaisseur de la couche de sédiment pour une hauteur d'une colonne d'eau unitaire.

d : hauteur de la colonne d'eau résiduelle après l'envasement à la fin de T année.

Taylor a obtenu par exemple la fin de la première année d'exploitation une hauteur de colonne d'eau égale à h (1-x), pour la fin de la deuxième année h (1-x)<sup>2</sup> et enfin pour la fin de T années.

$$d = h(1-x)^T$$

Connaissant la valeur de x et la hauteur initiale des charges d'eau du barrage h, on peut

déterminer la hauteur d'envasement pour n'importe quelle période de temps T.

## **Chapitre II**

### **Présentation de la zone d'étude**

**Présentation générale de la zone d'étude :****I.1. Situation géographique**

Le piémont Nord-Est des Aurès est constitué d'un couloir dominé par une chaîne de montagnes du massif des Aurès leur originalité réside dans la permanence du phénomène l'endoréisme qui est traduit par le développement d'une multitude de Sebkhass (Garaâs) occupant le centre des plaines qui constituent de ce fait leur niveau de base géomorphologique et leur exutoire hydrologique.

Ainsi défini et délimité, le piémont Nord-Est des Aurès fait partie du bassin versant des "HAUTS PLATAUX CONSTANTINOIS " (Carte .N°.1).

**I.1.1. Situation administrative**

Administrativement, la région du piémont Nord-Est des Aurès est associée deux wilaya Batna et Khenchela, située à l'Est du pays.

**. Les coordonnées géographiques de la zone d'étude**

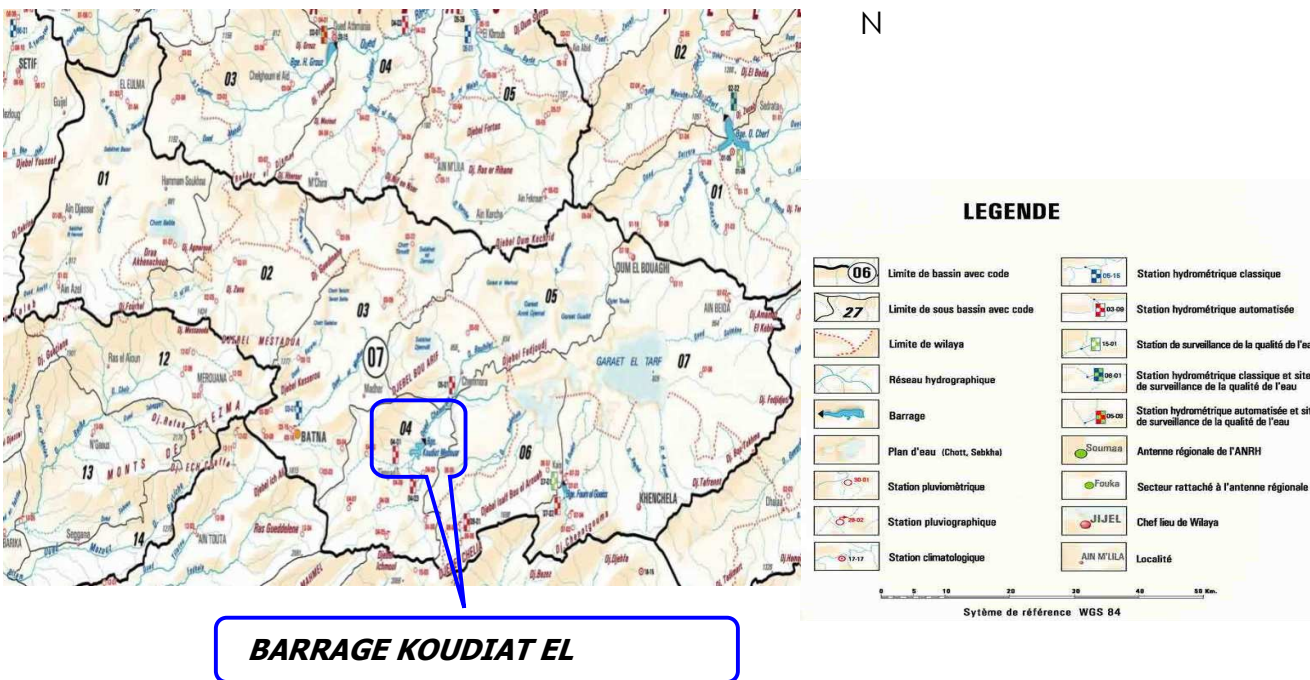
D'après la carte topographique (carte d'Algérie, feuille N-0-3-4 à l'échelle 1/200.000 –Type 1960) :

-Latitude : 39 G 20' - 39 G 50'

-Longitude : 4 G 50' - 5 G 50'

**I.2. Les grands ensembles physiques**

Les reliefs du piémont Nord-est des Aurès présentent de grandes ressemblances ils forment une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Les différents paramètres climatiques sont fortement influencés par ces reliefs qui forment une limite entre les influences sahariennes du Sud et celles de la continentalité caractérisant les hautes plaines. Ils sont constitués par trois grandes zones relativement homogènes.



Carte N°1: Situation du piémet Nord-Est des Aurès dans le bassin versant des "HAUTS PLATAUX CONSTANTINOIS. (Carte réseau ANRH-2010).

**I-II. Situation géographique de barrage :**

Le barrage proposer est le barrage KOUDIAT MEDOUAR sur l'oued Reboa le site de barrage se situe sur l'oued Reboa a environ 10 Km Nord-Est de site historique de Timgad et a environ 45 Km Est de Batna.

Les eaux de retenue sont destinées a l'irrigation des terres et pour l'AEP de la ville de Batna et la ville de Arris. Le site est prés du milieu du cours de l'oued, et il est accessible par la route carrossable vers chemorah.

Les cordonnées géographique de l'axe du barrage sont :

$$X=847300m ; Y=255140m ; Z=956.00m$$

Est encadré par le grand bassin versant suivant :

- Au nord : Kabîr rhemel et Seybouse ;
- A l'est : Medjerdah ;
- Au sud : Chot hadna et chot malghir ;
- Al' ouest : Soummam.

**Les sous bassin est limité:**

Au nord : Chamorah et Maadher

A l'est : Toufana

Au sud : Tazoult et Batna

Al' ouest : Arris et Chamorah

**I.II.I. Condition géomorphologique :****❖ Caractéristique de formes :**

La superficie du bassin versant de KODIAT MEDOUAR est mesurée a l'aide d'un planimètre sur un carte a l'échelle : 1/150000  $S_{bv} = 731.32 \text{ Km}^2$

Le périmètre de ce bassin est mesuré à laide curvimètre sur la même carte  $P_{bv} = 137.53 \text{ Km}$

**A. La zone montagneuse:**

Cette zone est formée par le massif des Aurès, portant les forêts et s'élevant jusqu'à 2328m d'altitudes. C'est un ensemble montagneux, qui sépare les hautes plaines constantinoises du Sahara.

Ils sont constitués par les monts de Ras\_er\_Rih (1916 m), el Mahmel dont l'altitude s'élève jusqu'à 2231m, plus à l'Est on rencontre les massifs de Djebels Aoures (1521 m), Djebel Aidel (2173 m) et Djebel Feraoun (2093 m).

**B. La zone de piémonts:**

Les piémonts qui correspondent topographiquement à des zones de transition entre les montagnes et les plaines à des altitudes moyenne qui varient entre 1200 et 1400 m. Ces piémonts correspondent en général à ensemble de glacis d'ablation constitués par les dépôts colluviaux qui descendent en pente atténuée vers la plaine. La zone de piedmont est le plus souvent agricole.

**C. La zone de plaine:**

Cette zone est formée par une succession de plaines et occupe la partie majeure de l'espace. Elle s'étend au Nord à l'Est du piémont entre 800 -1200 m d'altitude. Elle s'étale jusqu'à la rive des lacs salés. Les dépôts accumulés dans cette plaine sont composés dans l'ensemble, de sable, gravier, de limon, résultants de la charge solide des oueds.

**II. Etude topographique :**

Les données topographiques nécessaires à l'étude sont : les topographies de bassin versant de la retenue, de vallée de la rivière à l'amont et l'aval du barrage et de la retenue, des zones d'emprunt des matériaux de construction de la digue.

### **II.I. Topographie de bassin versant :**

La morphologie du bassin versant intervenant dans les études hydrologiques, la carte d'état major devra être suffisamment précise pour permettre de définir les éléments caractéristiques du bassin tel que superficie, forme, pentes, couverture végétale, etc....

La carte du bassin versant doit comporter des courbes de niveau en nombre suffisant, il faut au moins une dizaine de courbes de niveau sur le bassin pour en définir le relief avec assez de précision.

### **II.II. Topographie de la vallée du barrage :**

La carte doit s'étendre à l'aval de barrage pour permettre d'étudier les conditions d'écoulement des ondes de crue et leur incidence sur la sécurité publique tel que la forme et la dimension des sections transversales de la vallée ainsi que la pente longitudinale ne favorisant pas beaucoup le transport solide.

### **II.III. Topographie du site du barrage :**

Nous avons choisi le site de telle façon à minimiser le remblai de la digue et avoir une retenue maximale pour créer une réserve qui servira à irriguer le périmètre situé près du barrage et alimenter BATNA et ARRIS en eau potable.

La topographie du site est relativement plate, avec des collines basses. Une vaste plaine consistant le fond de la retenue, remonte en pente douce vers le site du barrage. L'appui rive droite présente une pente régulière de 1/8.

La partie centrale du site présente une crête transversale à la vallée qui s'élève 20m au dessus du niveau général de la plaine. Les pentes de cette crête sont assez faibles. Environ 1/15.

La partie rive gauche où se situe la digue annexe comprend une dépression entre la crête centrale et la base de la colline qui forme l'appui rive gauche.

Cette topographie très douce impose au barrage et à sa digue annexe, une longueur de crête importante : 2465m à la cote 997m et une forme concave vers l'aval.

### **III. Etude géologique :**

Les caractères hydrologiques d'un bassin versant sont dans une large mesure influencée par la capacité qu'ont les roches et les sols qui en dérivent d'absorber l'eau et de la retenir de manière temporaire. La capacité de stockage que possèdent les nappes phréatiques conditionne l'importance relative de l'écoulement de base des cours d'eau par rapports à l'écoulement total.

L'étude géologique d'un bassin versant a pour but de déterminer la perméabilité de substratum. Celle-ci intervient sur la vitesse de montée des crues.

Un bassin à substratum imperméable présente une crue plus rapide et plus violente qu'un bassin à substratum perméable soumis à une même averse.

La synthèse géologique est réalisée sur la base de :

- Les travaux de R. Laffite (1939).
- Les cartes géologiques de Khenchla (203), Toufana (202), à l'échelle (1/50.000). Notre étude est caractérisée par deux régions naturelles bien distinctes au point de vue stratigraphique et structural :
  - a. **Au nord**, les zones basses constituent le prolongement vers l'Est du bassin miocène de Timgad Toufana à Kais qui correspond à la bordure Méridionale de la grande dépression Garaât et-tarf.
  - b. **Les montagnes du Sud-ouest** constituent l'angle Nord-Est du quadrilatère plissé Aurésien avec deux structures principales : Au Nord l'anticlinal du Djebel Chélia et le synclinal de kenchela.

### III.1. Description litho stratigraphique du piémont Nord-est des Aurès :

#### III.1.1 Le Trias:

Cet étage est caractérisé par la présence de marne accompagnée de gypse et de sel gemme, et se situe sur les flancs des anticlinaux.

Le Trias affleure en masse chaotique, sans aucune stratification. Dans ces masses, divers éléments sont reconnaissable (dolomies noires, grès, gypses marneux et gypses fibreux) et emballés dans des argilites vertes.

Les pointements Triasiques sont en contact anormal :

- ✓ à Khenchela avec l'Aptien, le Cénomaniens et le Coniacien.
- ✓ au Djebels El Krouma et Knif avec l'Albien, le Sénonien et le Cénomaniens.

#### III.1.2 Le Jurassique :

Il s'agit de marnes, de calcaires marneux et de dolomies, constituant la succession de cet étage. La partie supérieure est constituée de calcaire de plus en plus dolomitique jusqu'à la dolomie pure.

#### III.1.3 Le Crétacé :

Le crétacé est très développé dans la zone d'étude est présenté par:

### III.1.3.1. Le Crétacé inférieur

➤ **Le Barremien :**

Apparaît dans l'anticlinal de Khenchela et affleure au Djebel Feraoun, au Djebel Aidel où il présente un faciès quartzeux au Djebel Bazeze et au Djebel Chadgouma. Le Barrémien existe seulement dans cet anticlinal du Chélia et du Djebel Bouarif.

➤ **Aptien :**

Affleure dans tout les anticlinaux de l'Aurès il présente une épaisseur de 300 à 400 m et présente un faciès gréseux très fin.

➤ **Albien de l'anticlinal de Khenchela (marnes, dolomies et grès)**

L'Albien entoure régulièrement l'anticlinal en formant une ceinture plus ou moins continue au dessus de l'Aptien. Il se présente généralement sous un faciès gréseux à tendance quartzitique.

### III.1.3.2. Le Crétacé supérieur :

Existe dans tout les anticlinaux de la zone d'étude et caractérisé par un faciès marno-calcaire.

Existe dans tout les anticlinaux de la zone d'étude et caractérisé par un faciès marno-calcaire et un autre marneux :

**Le Turonien :**

Il apparaît au Sud de l'anticlinal de Chélia avec la forêt de Béni Imlloul. Cet étage est caractérisé par des faciès marneux et calcaro-marneux.

**Le Coniacien :**

Le synclinal du Djebel l'Aurès possède une série coniacienne cette dernière est formée par des marnes grises et marno-calcaire.

**Santonien :**

Le Santonien affleure sur le flanc Nord de l'anticlinal du Djebel Chélia et dans le synclinal du Djebel Aurès. Il correspond de marnes gris-bleu et marno-calcaires.

**Campanien :**

Le campanien est très bien visible dans le synclinal du Djebel l'Aurès, et sur le flanc Nord de l'anticlinal du Djebel Chélia.

### III.1.4. Le Miocene :

**Aquitano- Burdigalien : (conglomérats rouges) :**

Les couches rouges aquitano-burdigaliennes sont discordantes sur le crétacé.

L'épaisseur ne dépasse pas 60 à 80 m.

**Langhien-Serravalien :**

Marnes, biomicrites, biomicrosparites et grès blancs. Cet ensemble complexe repose directement en trans. gression sur le Trias et surtout au Nord du Kef Tifressa et du Ras Serdoun.

**Tortonien gréseux blanc et grossier :**

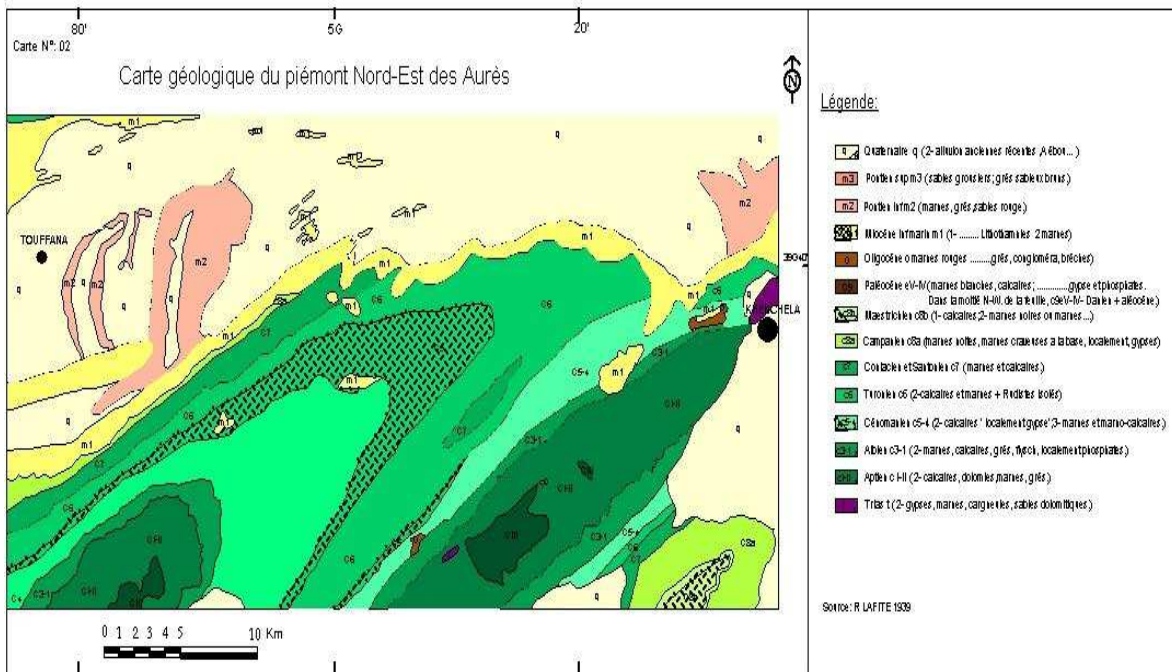
Cette formation à une puissance d'environ 300 m aisément estimable au Djebel el Kharroub.

**Tortonien supérieur continental :** (argiles silteuses)

Beiges et rouges, grès. Cette formation est, beaucoup plus développée dans le bassin miocène de Timgad.

**III.1.5. Le Quaternaire :**

Il représente des alluvions récentes formées le long des oueds (Reboa, Chemorah) des nappes d'éboulis avec une origine calcaire ou gréseuse, focalisées sur les flancs de Djebel Timagoult



Carte N °02 Géologie de piémont Nord-est des Aurès.(RLAFITE 1939).

### III.1.5.1. Eboulis à blocs :

Les éboulis sont localisés aux massifs montagneux de l'anticlinal de Khenchela, du Synclinal du Djebel Aurès.

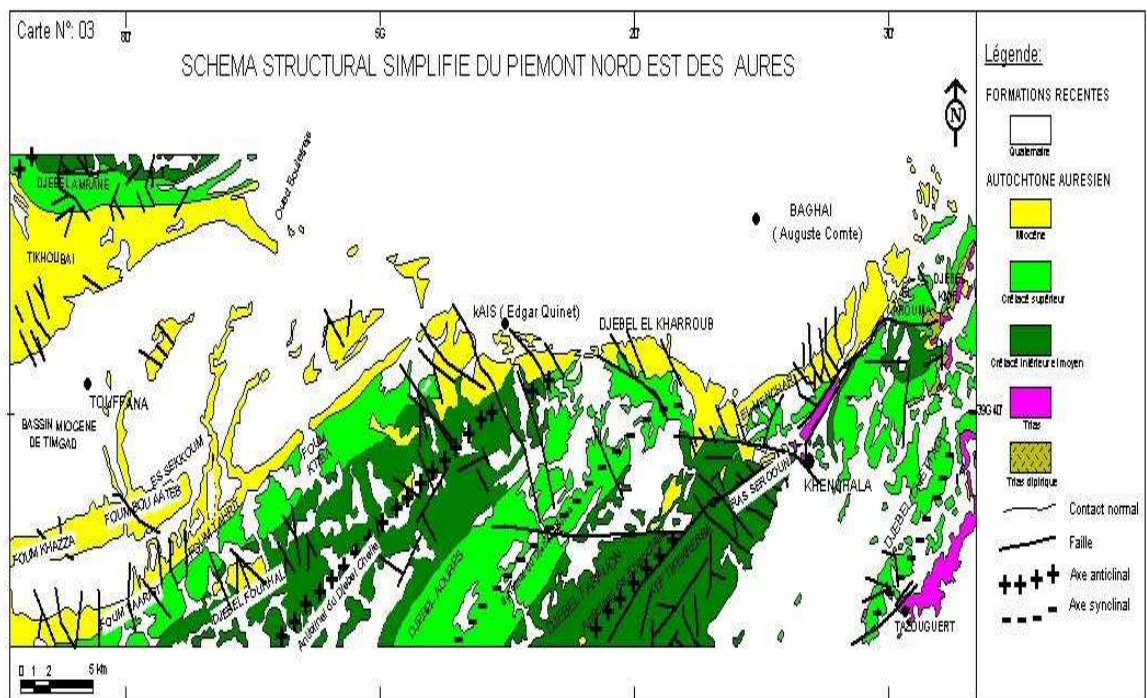
### III.2. Le Cadre structural et tectonique

Le piémont Nord-Est des Aurès se trouve dans le Nord-Est de l'Algérie, sur la bordure Nord de la plaque Africaine, le long de sa zone de contact avec la plaque eurasiatique au Nord.

Depuis le Trias jusqu'à l'Actuel, l'Atlas Saharien a subi plusieurs épisodes successifs de subsidence et de soulèvement, en relation avec les mouvements relatifs de plaque tectoniques, ce qui indique un changement dans la dynamique d'écoulement. Cette mobilité tectonique apparaît dans les structures suivantes:

- Le synclinal du Djebel l'Aurès, pli dissymétrique avec un flanc long au NO et un flanc court au SE.
- L'anticlinal de Khenchela.
- Le synclinal du Djebel Djehfa.
- L'anticlinal du Djebel Chélia.

Ces plis dont l'expression morphologique constitue les reliefs au Sud du Barrage de Foug El-Gueiss et **Koudiat Medouar** sont formés à la faveur de failles dont la direction est parallèle à celle des axes de plis.



Carte N°03 : Schéma structural simplifié du piémont Nord-est des Aurès. (MEHEMAI Fairouz 2009).

La transition entre la plaine des Sabkhas et les reliefs de l'Aurès est matérialisée par un piémont de grès miocène (Tortonien) discordants sur les calcaïnes cénomaniens de l'anticlinal du Djebel Chélia. Dans le Bassin miocène de Timgad s'accumulent des formations détritiques, Alluviales.

#### **IV .Etude pédologique :**

L'étude des caractéristiques des soles ou l'étude pédologique de la zone d'étude est très importante dans notre travail, à cet effet, la Carte N° (04) représente la répartition spatiale des différents types de sols dans le piémont Nord-Est des Aurès.

##### **IV.1 Les différentes classes des sols:**

Lors de la prospection pédologique nous avons recensé quatre classes de sols dans le périmètre de chemorah.

- Sol peu évolués
- vertisols
- sols calcimagnésiques
- sols halomorphes

##### **IV.2 Les différentes classes d'aptitude des sols à l'irrigation et au drainage :**

Cette classification basée sur les paramètres suivants :

- Profondeur du sol.
- Texture.
- Salinité.
- Topographie.
- Perméabilité.
- Drainage.
- Calcaire actif.

###### **a) Texture :**

Elle a une influence directe sur la perméabilité et la teneur en eau utilisée par le solum. Elle est très importante comme critère de classification dans la région de Batna Toufana.

###### **b) Profondeur du sol :**

Elle définie comme l'épaisseur du sol situé au dessus d'une couche limite qui est impénétrable aux racines ou à l'eau de percolation. La zone étudiée présente des profondeurs variables, limitées pour certaines d'entre elles par un substratum gréseux et des amas gypseux.

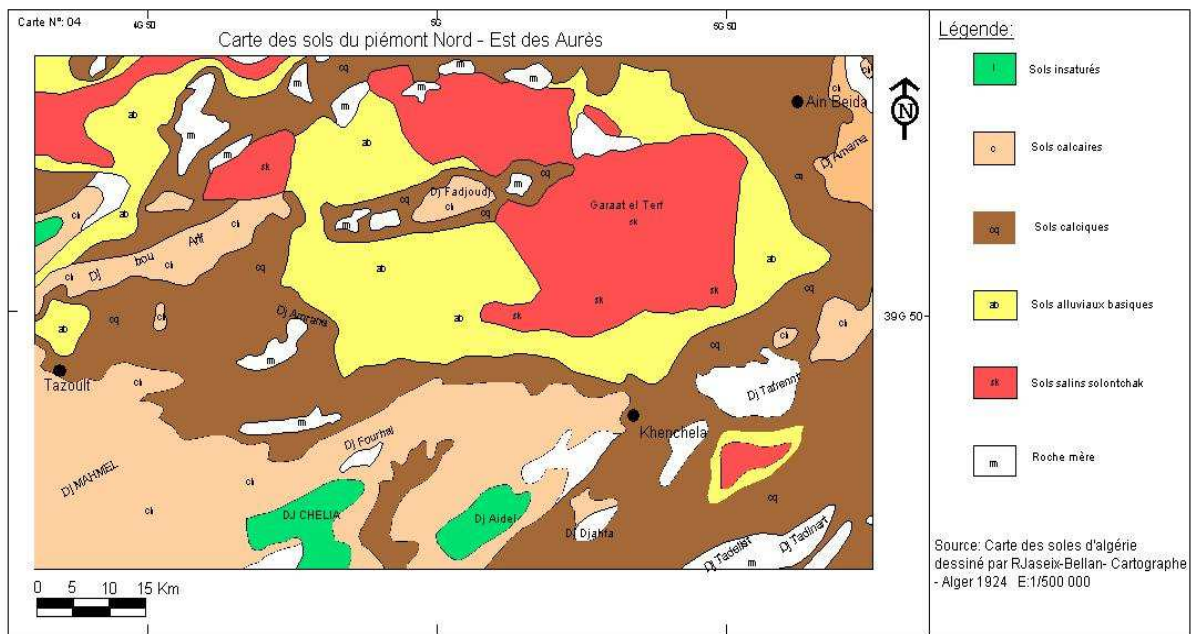
###### **C) Teneur en calcaire (total, actif) :**

En dehors de la zone au SUD-EST de la plaine étudiée, où l'on a un encroûtement calcaire généralisé, les sols une teneur en calcaire total élevée (variant de 25 à plus de 30%).

La teneur en calcaire actif (varie de 12 à 16% c'est un facteur défavorable à de nombreuses cultures surtout les cultures arbustives : agrumes, poirier, cognassier.. qui sont sujettes à la chlorose.

Le calcaire, à des teneurs élevés, est aussi défavorable à de nombreuses cultures, car elle peut engendrer le « blocage » d'engrais (notamment les phosphates et fer) qui seraient apportés au sol.

## V. Etude de couvert végétal :



**Carte N°04 :** Carte du sol du piement Nord-Est des Aurès.(carte des soles d'Algérie dessiné par.R-Bellan-cartographe –Alger :1924 E :1/500000 )

La forêt ou plus généralement le couvert végétal, intervient sur le fonctionnement hydrologique du Bassin versant et surtout sur les ressources en eau, les inondations et l'érosion des sols.

Le rôle de la forêt est perçue comme modérateur des écoulements et réducteur des pointes de crue. Inversement la destruction d'une forêt provoque un accroissement annuel de l'écoulement, par diminution de la capacité d'infiltration des eaux dans le sol.

Le potentiel forestier du piémont Nord-Est des Aurès est menacé par une dégradation importante, la végétation généralement sur pâturée, les plaines au nord sont réservées aux céréales extensives, protègent mal le sol.

Les principales zones forestières de ce piémont sont formées par quatre grands blocs représentés par:

### **V.1. La forêt des Béni Imlloul (Mont Chélia)**

Le mont Chélia s'étendant sur une superficie de 8.832 hectares, et culmine à 2326 m d'altitude. Il se situe au nord du massif de Béni Imlloul qui est couvert de Cèdre, le Chêne vert, le pin d'Alep, le Sorbier, le Frêne et le Genévrier oxycèdre. Dans se mont chaque espèce représente un étage bioclimatique.

### **V.2. La forêt des Ouled Yagoub**

La forêt d'ouled yagoub est l'une des plus importantes en Algérie, elle s'étale sur une superficie de 22000 hectares, et constitue une réserve forestière importante dans le massif des Aurès.

Mais actuellement, il en résulte qu'une grande partie de la forêt se trouve dans un état avancé de dégradation causée par une socialisation profonde (surpâturage, occupation des sols sous forme des surfaces agricoles...etc.) aggravée par une perturbation climatique persistante.

La forêt est constituée de plusieurs types d'essences, telles que le Pin d'Alep, le Cèdre de l'Atlas, le Chêne vert, le Génivrier de Phénicie et le Génivrier oxycèdre.

### **V.3. La forêt des Béni Oudjana**

Elle est située sur le territoire des douars Taouzient, Yabous, Chélia, Mellagou, de la tribu des Beni Oudjana. Elle renferme 44.000 ha. Les altitudes sont très diverses depuis 1000m jusqu'à 2328 m.

La partie nord de cette forêt est bordée par la crête du Chélia, celle de Foughal jusqu'au Ras Termelli. Toutes ses eaux forment le bassin de l'oued Bou El Freiss qui se rend dans le bassin fermé de la Gueraa el Tarf. Ce massif est peuplé de chênes verts et de Pins d'Alep.

### **V.4. La forêt de Sgag**

Elle est située sur le territoire des douars Oued Taga et Bouzina dans la tribu des Ouled Abdi. Elle renferme 15.000 ha.

La partie nord-est de la forêt de Sgag forme le bassin de réception de l'oued Taga qui alimente le bassin fermé de la sebkha Djendeli.

L'altitude varie entre 1200m et 2000 m. les peuplements de cette forêt se composent de 5/10 de Chênes verts, 2/10 de Génévriers, 2/10 de Pin d'Alep. Et 1/10 de vides.

### **V.5. Les prairies**

Les prairies qui sont classées avec la couverture forestière du fait de leurs rôles protecteurs des sols en permanence, suit étroitement les vallées alluviales de l'Oued Taga, Reboa et certains affluents. Les parcours et les terrains dénudés occupent les piémonts, les vallées, les dépressions et aussi les massifs montagneux ou les nuances de l'érosion Hydrique sont très nettes.

Au total, les formations végétales assurant une protection médiocre au sol, sont les plus représentées dans le piémont Nord-Est des Aurès, dont le caractère dégradé et discontinué de cette couverture présage d'un écoulement irrégulier et torrentiel et d'une érosion très développée dans la région.

## VI. Etude morpho métrique :

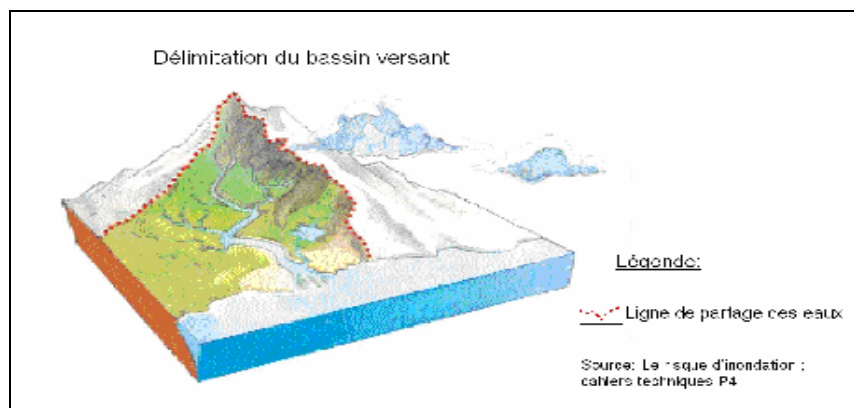
Avant d'aborder la problématique du risque d'inondation, il est nécessaire de définir un territoire de travail approprié. Le bassin versant constitue pour cela le meilleur cadre.

### - Eléments de base en hydrologie:

#### ➤ Un territoire géographique bien défini:

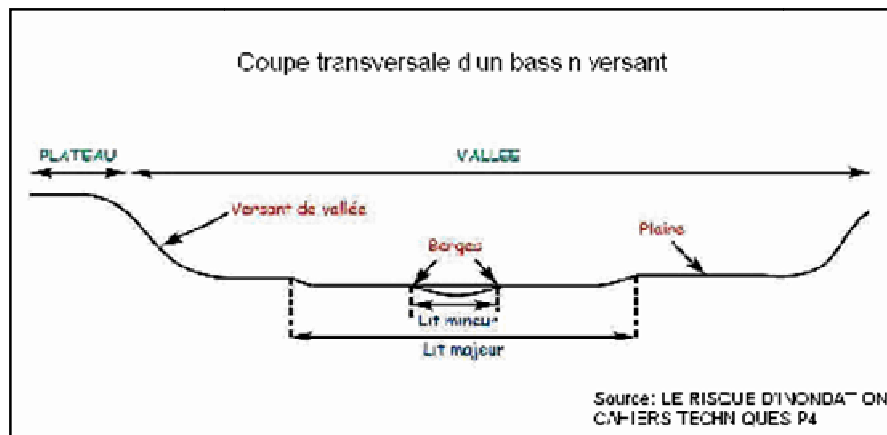
#### • Le bassin versant:

Un bassin versant est un territoire délimité par des frontières naturelles appelées "lignes de partage des eaux" ou "lignes de crête". Chaque bassin versant draine un cours d'eau principal souvent accompagné de plusieurs affluents. Ainsi, chaque goutte de pluie qui tombe sur ce territoire va rejoindre l'oued soit par écoulement de surface, soit par circulation souterraine après infiltration dans le sol.



**Figure( II-1):** Délimitation du bassin versant

Le bassin versant correspond donc à la surface d'alimentation d'un cours d'eau.



**Figure (II-2):** Coupe transversale d'un bassin versant

Ce sont les oueds qui, par le jeu de l'érosion, vont décomposer le bassin versant en plusieurs parties : les plateaux, les vallées et les plaines où l'on distingue les lits mineur et majeur des cours d'eau (Figure n°2).

Le lit mineur est l'espace limité par les berges et parcouru par les débits non débordants. Par opposition, le lit majeur (ou zone d'expansion de crue, ou zone inondable) est l'espace occupé par les eaux débordantes. Il est défini comme l'espace situé entre le lit mineur et la limite de la plus grande crue connue (ou crue historique).

Le bassin versant topographique est déterminé par les écoulements de surface. Par conséquent, les frontières de ce bassin versant sont les lignes de partage des eaux.

Cependant, selon la géologie du terrain, il se peut que des eaux, qui en surface semblent rejoindre un bassin versant voisin, s'infiltrent et reviennent alimenter le bassin versant initial (présence de karst ou d'une couche imperméable). On parle alors d'un bassin versant hydrogéologique dont les limites sont les structures géologiques imperméables ou les karsts.

L'hydrologie moderne doit pouvoir analyser correctement les observations issues des différents bassins. Elle doit surtout pouvoir comparer les résultats d'analyses entre bassins, afin de mettre en évidence et d'expliquer aussi les causes de ces variations.

Pour cela les méthodes qualitatives ne suffisent plus à une analyse rigoureuse des causes, qui ne peut ce faire qu'à partir d'une approche quantitative, chiffrée basée sur l'outil mathématique. Cette quantification doit s'effectuer d'une manière homogène, et les paramètres mesurés aboutissent à des méthodes précises et bien définies.

Cette étude porte sur un bassin versant du piémont Nord-Est des Aurès, le bassin versant de **Koudiat Medouar** choisies sur des critères de représentativité à la fois sur le plan physique et sur le niveau de développement humain.

Deux types de paramètres caractérisent le milieu physique, les uns sont géométriques,

les autres morpho métriques.

### VI.1. Paramètres géométriques :

La caractérisation géométrique d'un bassin versant peut être abordée à l'aide de certains indices caractéristiques quantitatifs. Ces indices nécessitent d'abord la naissance et la mesure de deux paramètres de base indispensables, en l'occurrence, la surface du bassin et son périmètre.

La surface et le périmètre de bassin versant **Koudiat Medouar**:

Surface (km <sup>2</sup> )	Périmètre (km)
731.32	137.53

#### VI.1.1. L'indice de compacité (Kc) :

Le compteur d'un bassin versant englobe une superficie (S), qui a une certaine forme, laquelle va avoir une influence sur l'écoulement global et sur l'allure de l'hydrogramme de crue résultant d'une pluie donnée. Un bassin longiligne ne réagira pas de la même manière qu'un bassin de forme arrondie.

La compacité d'un bassin versant influe fortement sur le temps de réponse du bassin versant lors d'une crue c'est-à-dire le temps de concentration de la crue.

$$Kc = \frac{P}{\sqrt{S}} \quad 0.28$$

$$Kc = 1,43$$

Les valeurs de Kc obtenues montrent que le Bassin versant d'Oued Chemorah a une forme allongée.

#### VI.1.2. Le rectangle équivalent:

Le rectangle équivalent de M. Roche est définie comme étant le rectangle de longueur (L) et de largeur (l) qui a la même surface (S), même périmètre (P), même indice de compacité (Kc) et même hypsométrie que le bassin versant étudié. :

Ce paramètre facilite la comparaison entre les bassins versants du point de vue de leur influence sur l'écoulement.

$$L = \frac{Kc\sqrt{S}}{1,12} \left( 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{Kc}\right)^2} \right)$$

$$l = \frac{Kc \sqrt{S}}{1,12} \left( 1 - \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right)$$

<i>L (km)</i>	<i>l (m)</i>
55.36	13.21

### VI.1.3. La courbe hypsométrique:

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief et représente la répartition des surfaces en fonction de ses altitudes.

Cette courbe est obtenue en portant :

- En abscisses, l'altitude considérée
- En ordonnées, la surface partielle du bassin versant pour laquelle chaque point a une cote au moins égale à cette altitude.

Figure N°:03

Réctangle équivalent du bassin versant  
OUED CHEMORAH

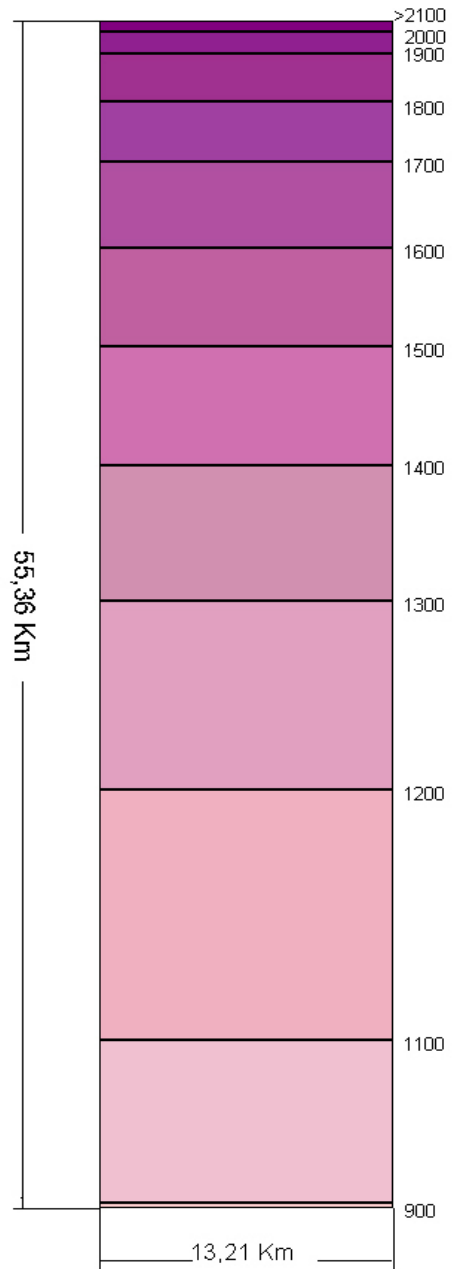
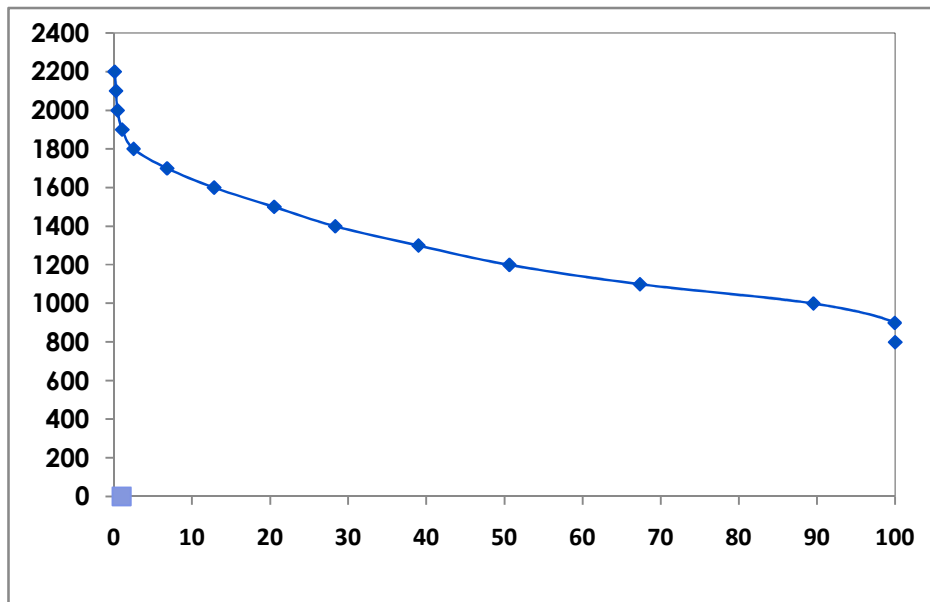


Figure (II-3): Rectangle équivalent du bassin versant de Koudiat Medouar. (MEHEMAI Fairouz-2009)

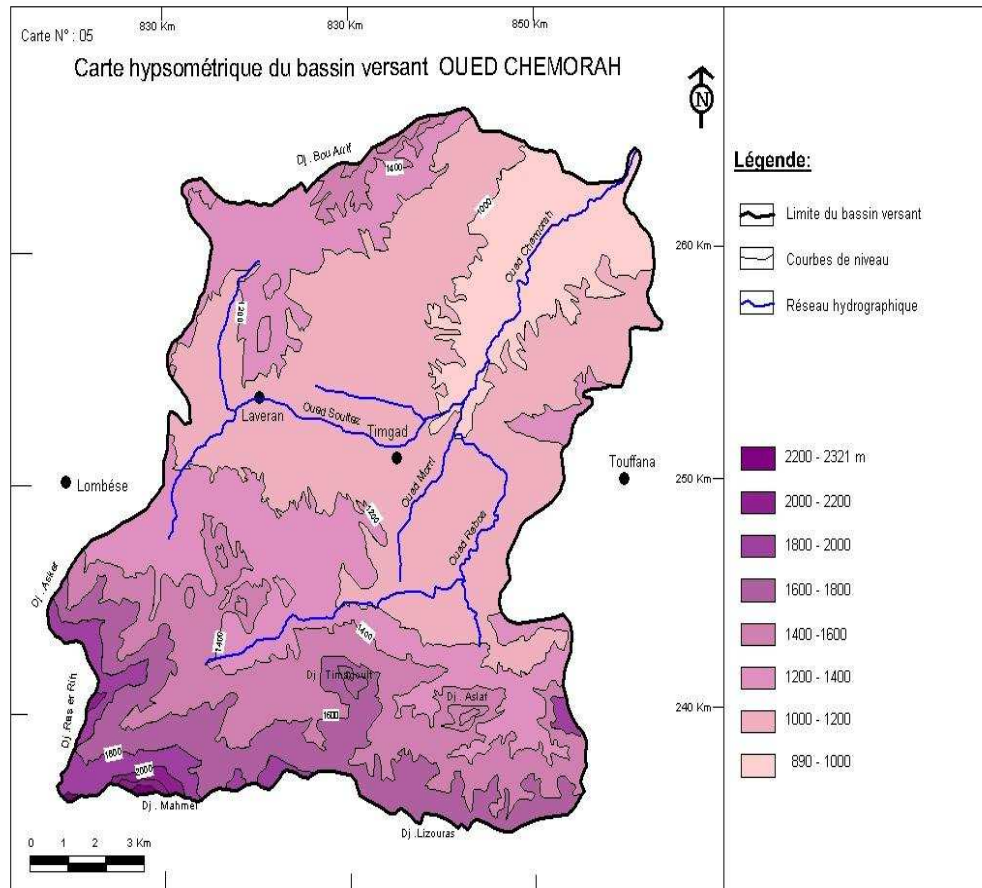
**Tableau (II-1) : Répartition altimétrique du bassin versant OUED CHOMORAH :**

Elévation (m)	Bornes Sup. (m)	Surfaces entre courbes		Surfaces cumulées	
		S <sub>i</sub> (km <sup>2</sup> )	%	S <sub>i</sub> (km <sup>2</sup> )	%
2321-2200	2321	0.95	0.12	0.95	0.13
2200-2100	2200	1.01	0.13	1.96	0.26
2100-2000	2100	1.45	0.19	3.41	0.46
2000-1900	2000	4.60	0.62	8.01	1.09
1900-1800	1900	10.5	1.43	18.51	2.53
1800-1700	1800	31.5	4.30	50.01	6.83
1700-1600	1700	44	6.01	94.01	12.85
1600-1500	1600	56.20	7.68	150.21	20.53
1500-1400	1500	57.10	7.80	207.31	28.34
1400-1300	1400	77.80	10.63	285.11	38.98
1300-1200	1300	85.20	11.65	370.31	50.63
1200-1100	1200	122.10	16.69	492.41	67.33
1100-1000	1100	162.5	22.15	654.91	89.55
1000-900	1000	75.10	10.26	731.01	99.95
900-890	900	1.30	0.17	731.31	100

**Figure(II-4) :courbe hypsométrique**

A partir de cette courbe on détermine :

- L'altitude à 95 % de la surface, ( $H_{95}$ ) = 1039.73 m
- L'altitude à 5 % de la surface, ( $H_5$ ) = 1843.23 m
- L'altitude médiane, ( $H_{50}$ ) = 1298.25 m
- L'altitude moyenne est ainsi définie :  $\bar{H} = \frac{\sum S_i * H_i}{S}$  :  $H = 1267$  m



Carte N°05 : Carte hypsométrique du bassin versant Koudiat Medouar (MEHEMAI Fairouz-2009)

#### VL1.4. L'indice de pente :

Le relief par sa configuration joue un rôle important vis-à-vis de l'aptitude des différents terrains au ruissellement, elle exerce une influence directe sur la rapidité de l'écoulement et donc sur la puissance de la crue.

#### VL1.5. L'indice de pente global (Ig)

Sur la courbe hypsométrique on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface, on aura les altitudes  $H_5$  et  $H_{95}$  entre lesquelles s'inscrivent 90%

de la surface du bassin et la dénivelée  $D = H_5 - H_{95}$ .

$$I_g = \frac{D}{L}$$

Avec :

L : la longueur de rectangle équivalent.

### VL1.6. Indice de pente moyenne ( $I_m$ )

Le but de cet indice est de caractériser les pentes d'un bassin ce qui permet des comparaisons et des classifications.

C'est le rapport entre la dénivelée totale du bassin versant (D) et la longueur du rectangle équivalent (L)

$$I_m = \frac{\Delta H}{L}$$

Avec :

$$\Delta H = H_{\max} - H_{\min}$$

L : la longueur de rectangle équivalent.

### VL1.7 Dénivelée spécifique ( $D_s$ )

A dénivelée spécifique permet de définir les différents types de relief des bassins versants

$$D_s = I_g \sqrt{S}$$

Avec :

$I_g$  : indice de pente globale

S : superficie du bassin versant.

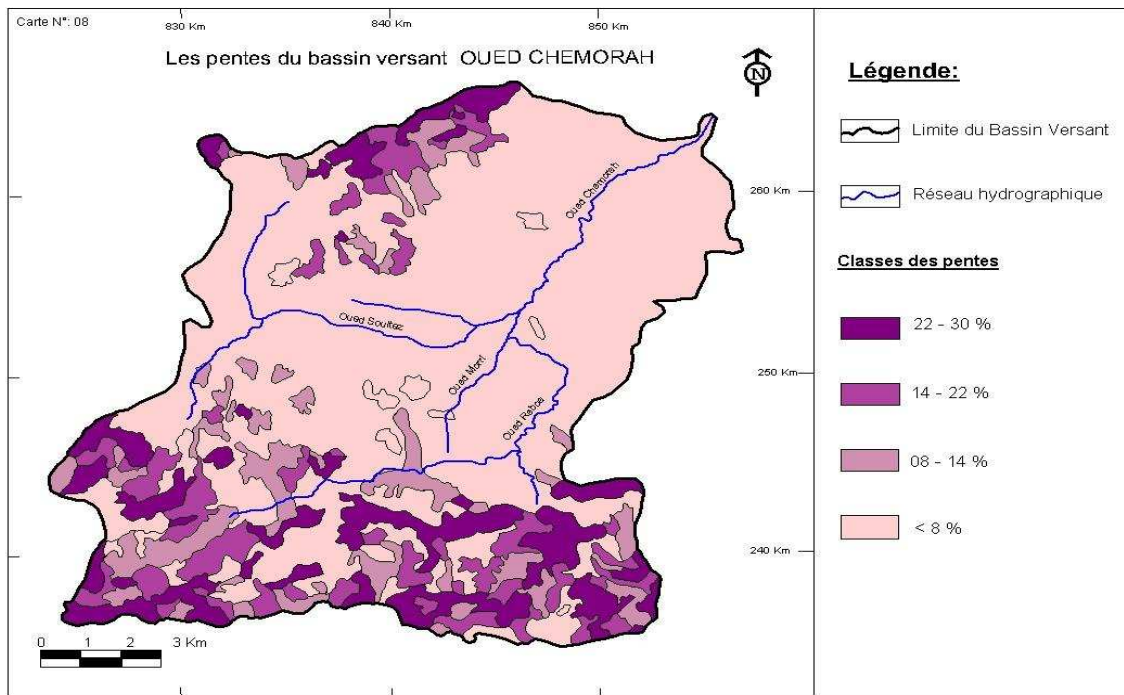
### Bassin versant OUED CHEMORAH:

Indice de pente	B.V OUED CHEMORAH
Indice de pente M .ROCHE $I_p$	2.73
Indice de pente globale $I_g$ (m/Km)	14.51
Indice de pente moyenne $I_m$ (m/Km)	25.83
Dénivelée spécifique $D_s$ (m)	392.39

D'après la classification de L'ORSTON, le bassin versant d'OUED CHEMORAH se trouve dans la classe R6 donc relief fort :  $250 < D_s < 500$  m.

**Tableau (II-2): classification de L'ORSTON.**

R1	RELIEF TRES FAIBLE	5	Ds	10 m
R2	RELIEF FAIBLE	10	Ds	25 m
R3	RELIEF ASSEZ FAIBLE	25	Ds	50 m
R4	RELIEF MODERÉ	50	Ds	100 m
R5	RELIEF ASSEZ FORT	100	Ds	250 m
R6	RELIEF FORT	250	Ds	500 m
R8	RELIEF TRES FORT	500	Ds	750 m



**Carte N°06** : Les pentes du bassin versant Koudiat Medouar (MEHEMAI Fairouz-2009)

## VI.2. Les paramètres morphométriques :

Les paramètres morphométriques les plus utilisés sont la densité de drainage, et les rapports de confluence.

### VI.2.1. Le réseau hydrographique :

Un réseau hydrographique est constitué par l'ensemble des cours d'eau et peut-être appréhendé de deux façons :

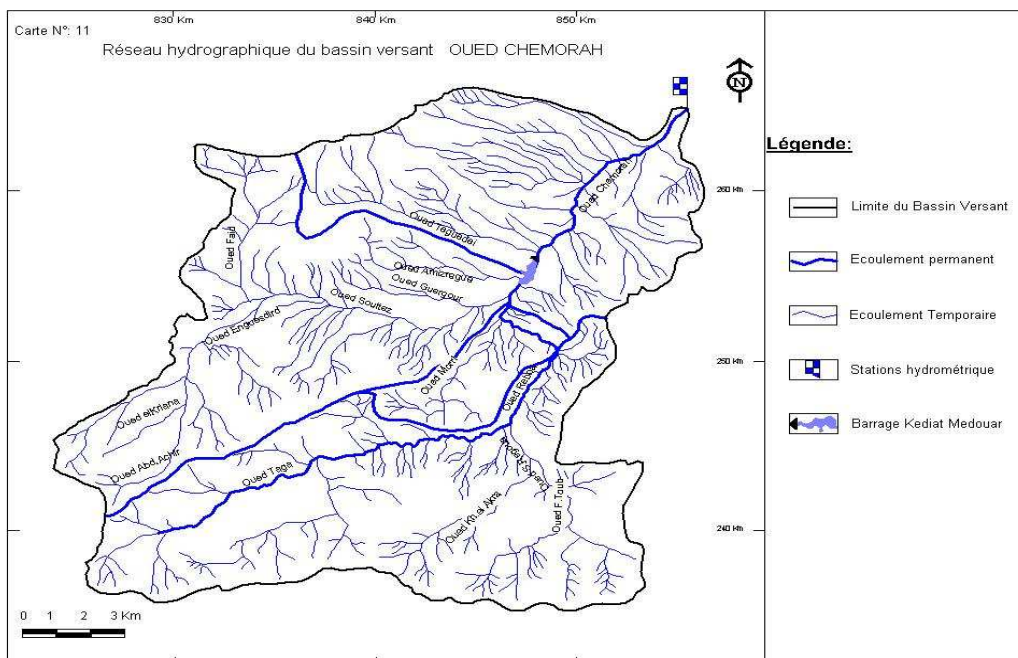
Par la densité de son drainage (définie par le quotient de la somme des longueurs de tous les cours d'eau par la superficie du bassin drainé) et par son organisation.

Le réseau hydrographique est d'autant plus développé et complexe que le terrain est moins perméable, et donc que le ruissellement de surface est plus intense.

#### Bassin versant OUED CHEMORAH:

L'oued Chemorah résulte de la jonction de deux affluents Oued Reboa et Oued Soultez qui drainent respectivement une superficie de 280,5 et 189 km<sup>2</sup>, dont la confluence donne naissance à l'oued Chemorah qui reçoit sur sa rive gauche les Oueds de Taguedai et Amizraguen.

L'oued Chemorah se perd après un trajet d'environ 64 km, dans les lacs salés des hautes plaines constantinoises, il s'agit de Sebkhet Djendlti, Garaât Ank Djemel et Garaât et-tarf. (Carte N°07)



**Carte N°07 :** Réseaux hydrographique du bassin versant Koudiat Medouar (MEHEMAI Fairouz-2009)

#### Classification des cours d'eau :

La classification que nous adopterons est celle de SCHUM qui définit un ordre (X+1) tout tronçon de rivière formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre (X)

Le calcul des paramètres morpho métriques s'effectue à partir de la classification du schum.

**Tableau( II-3) :** Tableau récapitulatif de longueur et du nombre des cours d'eau de différents ordres (Bassin versant OUED CHEMORAH):

Ordre	Nombre (N)	Longueur (Km)
1	2968	966
2	623	478
3	144	210
4	26	84
5	5	51
6	1	46
<b>total</b>	<b>3767</b>	<b>1835</b>

### VI.2.3. Calcul des paramètres :

#### VI.2.3.1. La densité de drainage:

La densité de drainage est définie pour un bassin donné de superficie S, comme la longueur totale des cours d'eau de tout ordre sur la surface drainée:

$$Dd = \frac{\sum_{x=1}^n Lx}{S} \text{ (Km / km}^2\text{)}$$

La densité de drainage est généralement élevée (2,50) pour l'ensemble **d'OUED chemorah**, ce qui est la caractéristique des régions semi-arides où les facteurs de couvert végétal, la pente et la lithologie favorisent la dessiccation du relief et l'accentuation du phénomène érosif.

#### VI.2.3.2. La densité de thalwegs élémentaires, ou fréquence des oueds élémentaire :

$$F_1 = \frac{N_1}{S}$$

Avec :

$N_1$  : nombre de thalwegs d'ordre 1.

$S$ : surface du bassin versant

**VI.2.3.3 Coefficient de torrentialité :**

Le coefficient de torrentialité tient compte de la densité de drainage et de la densité du thalweg élémentaire d'ordre 1. Il est égal au produit de ces derniers.

$$C_1 = F_1 \times D_d$$

**Bassin versant OUED CHEMORAH:**

F <sub>1</sub>	5.81
D <sub>t</sub>	10.15

**V.2.4. Le temps de concentration (TC):**

Physiquement, il correspond au temps que met la goutte d'eau la plus éloignée de l'exutoire pour parvenir à celui-ci il se mesure de la fin de la pluie efficace à la fin de l'écoulement superficiel.

L'estimation opérationnelle, de ce temps de concentration, ne peut-être obtenue qu'à partir de nombreuses formules empiriques, dont nous ne citons ci-après la formule de GIANDOTTI :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5Lp}{0,8\sqrt{H_{moy}} - H_{min}}$$

**Tableau (II-4) :** Estimation du temps de concentration du bassin versant oued chemorah.

<b>Estimation du temps de concentration du bassin versant OUED CHEMORAH</b>		
Superficie du BV: S=	731,32	Km <sup>2</sup>
Longueur du talweg principal: L=	64	Km
Altitude minimale en aval du talweg principal: Hmin=	890	m
Altitude moyenne sur le bassin versant: Hmoy=	1267	m
Tc=	13,14 heures	13 h 8 m 24 s

## VII. Etude lithologique

### VII.1. Caractéristiques lithologiques

Les descriptions lithologiques qu'on abordera ci-après sont inspirées en grande partie des notices des cartes géologiques au 1/50.000 de Khenchela, nous essayons ici de préciser les caractères lithologiques en vue de déterminer les possibilités de l'écoulement superficiel :

#### **Bassin versant d'oued Chemorah :**

Des séries à dominantes marneuses avec des calcaires aux sommets, les formations à alternance de calcaires et de marne constituent la majeure partie des reliefs du sud du bassin, Alors que les calcaires massifs affleurent au niveau de Djebel Timagoult, et sur les flancs nord de Djebel el-Mahmel, les formations gréseuses du miocène de la surface s'étendent sur les reliefs Djebel Tizaguert, Koudiat Safia.

Les autres formations du quaternaire sont constituées par les alluvions récentes, et éboulis de calcaire.

La composition granulométrique de ces formations est très hétérogène (limons, argiles, graviers, sables.....etc.)

### VII.2. La perméabilité :

Pour décrire les principales formations lithologiques et préciser leurs capacités de rétention, il convient de les regrouper en des ensembles lithologiques en tenant compte à la fois de la perméabilité ou de fissures des roches et de leurs extensions.

Ainsi en distingue :

#### **A / Les formations à perméabilité forte (forte capacité de rétention) :**

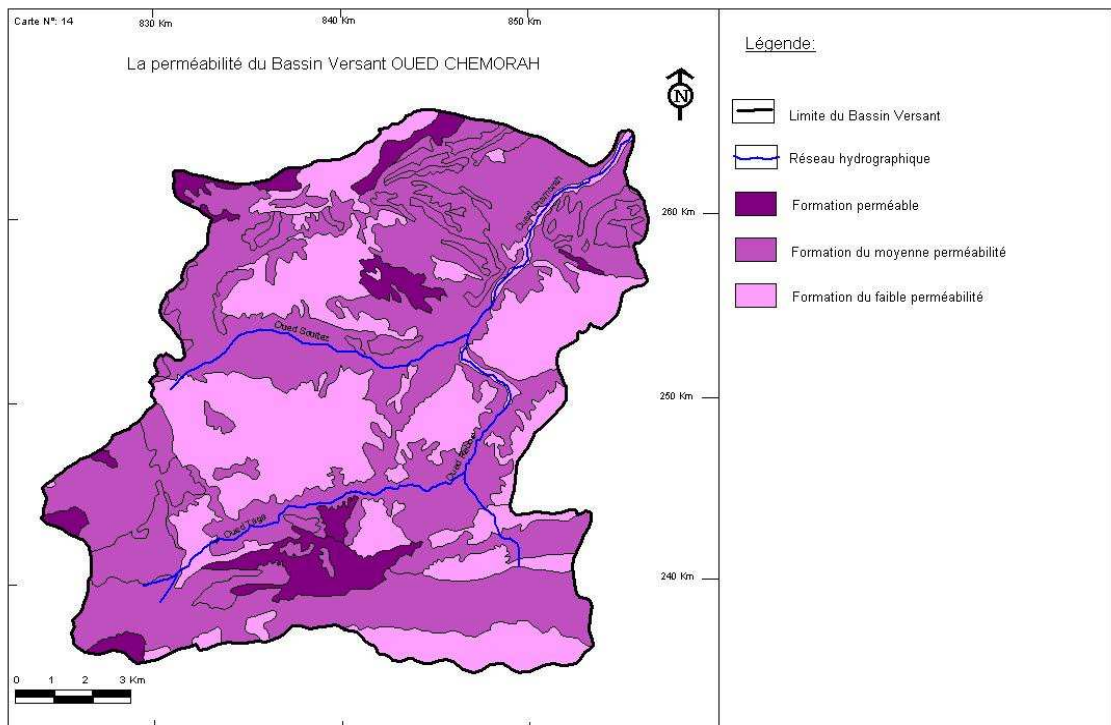
On regroupe sous cette classe les roches réservoirs calcaires (fissurés), les formations quaternaires, leur extension est surtout dans les montagnes de Kouanana et l'Aurès.

#### **B/ Les formations à perméabilité moyenne (moyenne capacité de rétention) :**

On regroupe sous cette classe les formations gréseuses les formations marneuses calcaires, des formations occupent la plus grande superficie de la zone d'étude, elles affleurent essentiellement dans les secteurs montagneux.

#### **C/ Les formations à perméabilité faible (faible capacité de rétention) :**

Cet ensemble regroupe le reste des formations dont la nature lithologique est très variée, mais ce sont les séries à dominance argileuse ou marneuse du mio-pliocène, et du crétacé qu'est le plus largement représentées de la surface totale.



Carte N°08 : La perméabilité du bassin versant Koudiat Medouar (MEHEMAI Fairouz-2009)

## VIII. Le barrage de Koudiat Medouar :

### V111.1 Localisation :

Le barrage de Koudiat Medouar se trouve sur oued Reboa à une distance de 10 km de la ville de Timgad et 45 km nord est de la willaya -Batna.

### V111.2 Objectif :

il est destiné pour l'alimentation en eau potable de deux wilayas (Batna et khenchela) et l'irrigation de deux périmètres Toufana et Aintouta après l'achèvement des travaux de transfert de Béni Haroun.

- ❖ court terme l'alimentation en eau potable pour Batna et khenchela
- ❖ Moyen terme l'irrigation
- ❖ Long terme l'alimentation en eau industrielle

**V111.3 Caractéristiques techniques :****VIII.4 Description**

Barrage en terre et enrochement les talus amont et aval sont protégés par la roche (rip-rap) avec une digue principale d'une longueur de 1280m et une digue de col (secondaire) d'une longueur de 990m.

**V111.5 Détails :**

- Digue principale : longueur 1280m, hauteur 48m
- Digue de col : 990m, hauteur 26 m
- Cote de la retenue normale : 992.50m (NNR)
- Capacité de la retenue normale : 70 Mm<sup>3</sup>
- Cote max : 996.65 (NPHE)
- Superficie du bassin versant : 731.32 km<sup>2</sup>
- Précipitation moyenne annuelle : 375 mm
- Apport moyen annuel : 28Mm<sup>3</sup>
- Largeur de la crête : 10m
- Largeur totale de la base : 350 m

**V111.6 Evacuateur de crue :**

- Largeur : 42m
- Longueur totale : 378m
- Hauteur de la lame déversant : 4.5m
- Capacité d'évacuation : 867m<sup>3</sup>/s

**V111.7 Galerie de dérivation :****➤ Vidange de fond :**

- dimension d'un puits : 1.70m X 2.40m
- longueur : 263m

**➤ Tunnel :**

- dimension : 8.8m X 8.8m
- longueur : 223m
- diamètre de la conduite d'AEP=1000mm
- diamètre de la conduite irrigation=1500mm

#### V111.8 Infrastructures:

➤ évacuateur de crue :

**type latérale sur la rive droite (coursier +bassin de dissipation+bassin d'amortissement.**

En mars 2009 notre barrage a connu son premier déversement depuis sa mise en exploitation, Ce phénomène a duré du 15mars au 31 mai, le volume total déversé est estimé de **24.025 Hm<sup>3</sup>**



**Figure (II-5) : évacuateur de crue (déversoir)**

#### V111.9 Galerie de dérivation :

Il ya deux compartiments, l'inférieur sert à la vidange de fond et le supérieur conçu en demi-cercle, il sert comme abri des deux conduites (AEP+irrigation) et comme accès à la tour de prise et la chambre des vannes

**Vidage de fond** : repartie en deux compartiment rectangulaire sert aux lâchées

**Tour de prise** : en béton armé d'une forme cylindrique avec cinq prises d'eau dans trois niveaux

Le premier niveau contient trois prises d'eau dont deux pour l'irrigation et l'autre pour l'AEP à la cote 966 m

Le deuxième et le troisième niveau sert pour l'AEP sur les cotes 975.10m et 985m respectivement,

**La chambre des vannes** : abris pour l'équipement hydromécanique

#### V111.10 Le contrôle technique:

➤ **Repartis en deux phases :**

❖ **1ere phase : exploitation**

📊 **Station météo :**

- bac Colorado d'une surface de 11304 mm.
- Pluviométrie
- thermomètre

Pour la lecture des cotes du plan d'eau une mire graduée placée verticalement sur la tour de prise.

❖ **2eme phase : auscultation**

📊 **Piézomètres:**

Nous veillons de contrôler les deux digues (digue principale & digue de col) durant toute l'année avec une prospection visuelle et des mesures de pression dans tous *les Piézomètres* incorporés dans le corps du barrage, Ces mesures de niveau piézométrique se faites hebdomadairement



**Figure (II-6):** les forages piézométriques

□ **Mesures tridimensionnelle (barre vanchon):**

Des mesures prise mensuellement à l'aide d'un pied à coulisse dans les trois dimensions X, Y & Z afin de contrôler les anneaux de la galerie de dérivation.

- **Cellules de pression**
- **Forages drainant**
- **Tassement et gonflement sur la digue principale**
- **Repères topographiques**

**CONCLUSION**

- Le relief de piémont Nord-Est des Aurès est caractérisé par des pentes assez fortes et fortes. Ces reliefs forment une barrière naturelle qui joue un rôle climatique et hydrologique important. Les différents paramètres climatiques sont fortement influencés par ces reliefs qui forment une limite entre les influences sahariennes du Sud et celles de la continentalité caractérisant les hautes plaines.

- Les caractéristiques physiques et morpho métriques permettent de mieux connaître le bassin versant étudié (sa topographie, son réseau hydrographique...etc.) et son comportement vis-à-vis de l'écoulement liquide et solide surtout en période de crue.

- L'approche morphologique présente les secteurs ayant une influence sur la stabilité du régime d'écoulement, on distingue :

- Les secteurs montagneux qui présentent des caractéristiques morphologiques favorables à la genèse et la propagation des crues ; Les secteurs de piémonts ont degré moindre ; alors que les secteurs de plaines sont le siège d'une accumulation des dépôts détritiques où les conditions d'écoulement sont défavorables au ruissellement.

- La lithologie de la zone d'étude est caractérisée par la prédominance des formations calcaires et marno-calcaires du crétacé, qui constitue les monts des Aurès, et par des formations mio-plio-quaternaires qui affleurent dans les structures de piémonts

et de plaines

- Ces formations offrent généralement une structure fragile, à faible résistance aux forces érosives, notamment dans les formations marneuses et argileuses.

- Les terrains perméables jouent plutôt un rôle retardateur et pondérateur de l'écoulement, les terrains imperméables favorisent un ruissellement immédiat et donc les cours d'eau à manifestations brutales.

- Barrage **Koudiat Medouar** d'une capacité **70.000** Hm<sup>3</sup>. L'utilisation principale des eaux du barrage est destinée à l'irrigation et alimentation d'eau potable et alimentation d'eau industrielle.



## **Chapitre III**

# **Etude hydrologique**

## I-Etude hydro climatologique :

Dans le présent chapitre, nous analyserons les paramètres climatologiques. Les objectifs majeurs de notre étude étant de rechercher et d'évacuer l'ensemble des éléments climatologiques et aussi la manière dont les différents composants du climat se comportent l'un par rapport à l'autre.

### 1- température de l'air :

La température est un facteur du climat très important, car elle conditionne l'évapotranspiration

Les températures dans la zone d'étude sont données par le tableau ci-dessous

**Tableau (III-1) :** Températures mensuelles moyennes en °C

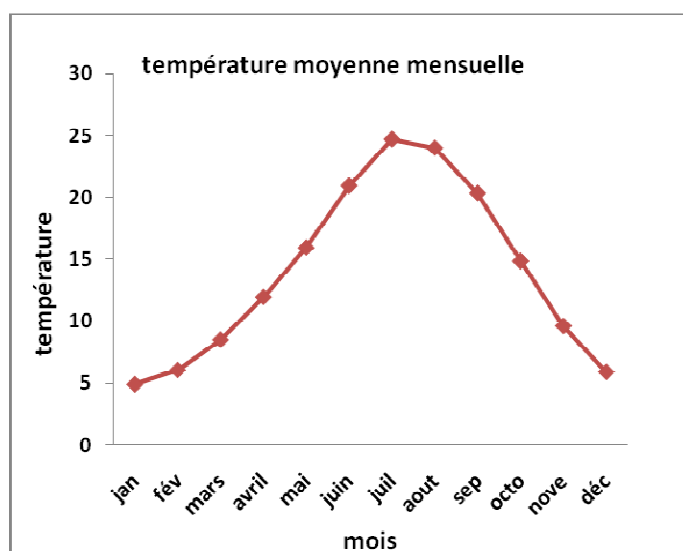
Mois	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Août	Sep	Octo	Nov	Déce	Année
$M_{max}$	9.5	11.5	14.3	18.92	23.6	28.9	33.3	32.3	27.7	21.2	15.0	10.7	20.6
$M_{moy}$	4.90	6.05	8.50	11.95	15.95	20.95	24.70	24.00	20.35	14.85	9.60	5.90	14.00
$M_{min}$	0.3	0.6	2.7	5.0	8.3	13.0	16.1	15.7	13.0	8.5	4.2	1.1	7.4

Source office national de la météorologie (ONM)

**Avec**  $T_{min}$  : moyenne de tous les minima observés pour chaque mois.

$T_{max}$  : moyenne de tous les maxima observés pour chaque mois

$T_{moy}$  : moyenne mensuelle



**Figure (III-1) :** Températures mensuelles moyennes en °C

## 2- L'Humidité relative :

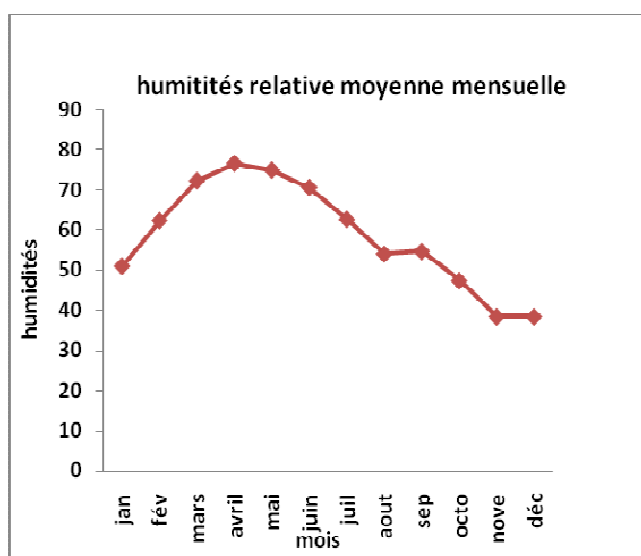
C'est un élément important du cycle hydrologique contrôlant l'évaporation du sol et la couverture végétale et qui représente la quantité réelle de vapeur d'eau contenue dans l'air par rapport à celle que l'air pourrait contenir s'il était saturé à la même température.

L'humidité relative de l'air moyenne annuelle (station météorologique de BATNA) s'élève dans la région à 59%. Les valeurs extrêmes sont atteintes en janvier (71%) et en juillet (41%).

**Tableau( III-2):**Humidités relative mensuelles moyennes en (%)

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
7h	71	80	83	88	86	86	78	70	69	64	56	55	<b>74</b>
13 h	36	47	65	66	66	57	52	40	43	34	26	26	<b>47</b>
18 h	46	60	69	76	73	69	58	52	52	44	33	34	<b>56</b>
moy	51	62,33	72,33	76,67	75	70,67	62,67	54	54,67	47,33	38,33	38,33	59

Source (ONM)



**Figure (III-2) :** Humidités relative mensuelles moyennes

## 3- Les vents

Le vent est un des éléments les plus caractéristiques du climat, car il favorise l'évapotranspiration. Son étude nous semble nécessaire pour l'orientation et l'implantation des brises vents.

La fréquence moyenne inter-annuelle des vents par leur direction de la station de BATNA figure dans le tableau suivant :

**Tableau( III-3 ):** Fréquence moyenne inter-annuelle des vents par leur direction de la Station de BATNA

	7H								13H								18H							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
S	7	22	6	5	4	27	19	10	5	18	3	3	6	37	17	11	9	30	2	4	4	31	13	9
O	6	18	5	5	2	34	19	10	7	19	2	2	3	40	19	8	6	26	1	2	2	43	12	10
N	7	15	4	3	3	37	13	8	8	18	2	1	3	37	23	8	7	17	1	2	2	45	16	7
D	10	16	4	3	1	39	26	10	8	18	2	1	1	35	24	11	10	17	1	1		42	19	11
J	9	19	4	2	2	28	23	13	9	25	1	0	1	28	21	14	12	24	1	1	1	34	14	12
F	10	21	4	3	2	28	19	13	8	18	1	2	2	34	20	15	8	21	1	2	1	37	20	15
M	8	19	4	3	3	33	20	10	7	18	1	1	6	38	19	10	9	23	2	4	2	36	15	9
A	9	21	7	4	4	26	19	11	8	18	1	2	7	31	21	12	10	25	2	4	4	29	19	12
M	8	27	6	7	4	19	22	7	9	23	2	4	6	27	19	10	11	38	4	2	4	21	11	10
J	11	29	8	6	4	18	16	8	11	24	3	3	8	25	17	9	13	40	4	3	2	18	12	10
J	6	28	6	4	5	28	17	6	6	20	1	3	12	36	15	7	11	36	2	5	3	25	11	8
A	6	21	6	5	6	29	21	6	7	21	2	3	8	33	16	8	7	38	3	4	5	25	12	6
<b>An</b>	<b>8</b>	<b>22</b>	<b>5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>28</b>	<b>20</b>	<b>9</b>	<b>8</b>	<b>20</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>34</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>31</b>	<b>15</b>	<b>10</b>

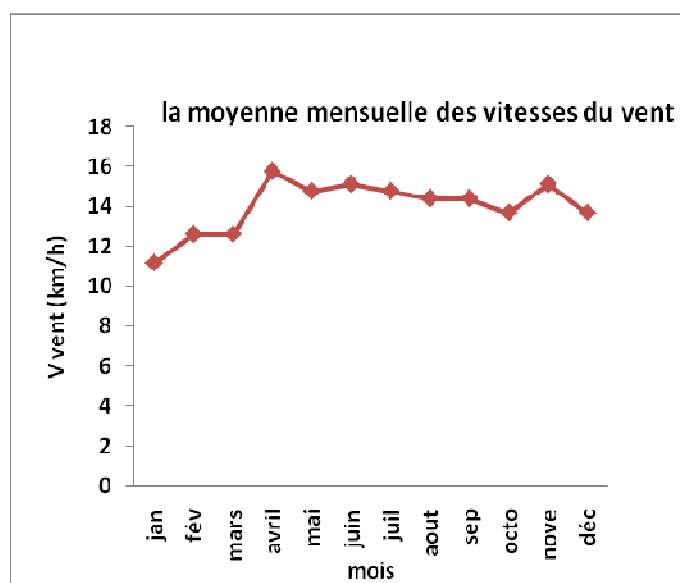
Source (ONM)

Les moyennes mensuelles des vitesses du vent déterminées à la station de BATNA sont données par le tableau suivant :

**Tableau( III-4 ) :** Les moyennes mensuelles des vitesses du vent

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
<b>V.vent (Km/h)</b>	11.16	12.60	12.60	15.75	14.76	15.12	14.76	14.40	14.40	13.68	15.12	13.68	<b>14.00</b>

Source (ONM)



**Figure (III-3) :** Les moyennes mensuelles des vitesses du vent

#### 4- Sirroco :

C'est un vent chaud et sec qui souffle du Sahara vers le littoral. Il est très néfaste pour les végétaux car il peut provoquer le flétrissement de la plante ainsi que les chutes de rendement, donc sa connaissance est primordiale pour le choix des espèces à préconiser dans le périmètre :

Les diverses valeurs observées sur les postes intéressant la zone d'étude sont présentées par le tableau ci dessous

Nombre de jours moyens du sirocco relevé à la station de Batna :

**Tableau(III-5):** Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de sirocco

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Année
Nombre de Jours	2.0	0.4	0.4	0.1	0.0	0.4	1.9	2.3	1.5	2.8	5.1	2.1	<b>19</b>

Le nombre moyen de jours de sirocco varie entre 1.5 à 5.1 jours entre Mai et Juillet. La pointe est observée en Juillet avec 5.1 jours. Le total annuel est de 19 jours.

#### 5- Evaporation :

La valeur prise en compte pour l'évaporation annuelle moyenne a été celle extraite de »L'Etude hydrologique de l'oued Chemorah« - ONM, novembre 1985 c'est – à dire: Evaporation annuelle moyenne: 1560 mm- Evaporation mensuelle dans la retenue de Koudiat Medaour.

**Tableau (III-6) :** Evaporation annuelle moyenne

Mois	Sept	Oct.	Nov.	Déc	Janv	Févr	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil	Aoû	Total	
E	mm	170	101	75	44	39	51	76	106	162	207	275	252	1560
	%	10,9	6,5	4,8	2,8	2,5	3,3	4,9	6,6	10,4	13,3	17,6	16,2	100

Source (ANRH) Constantine

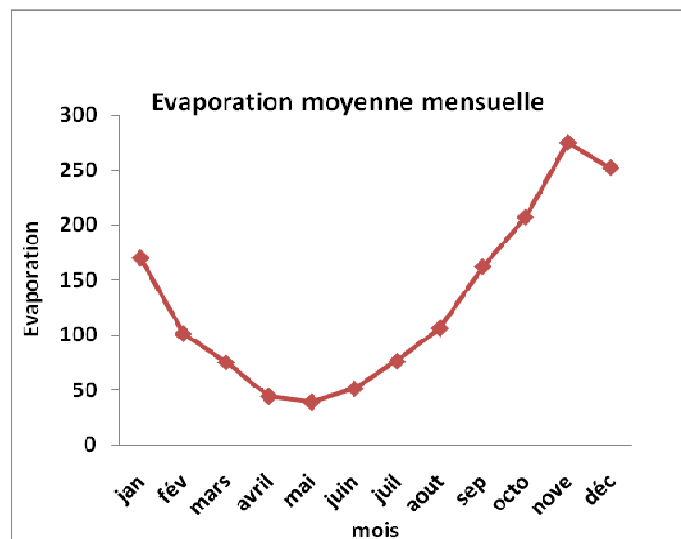


Figure (III-4) :Les moyennes mensuelles des vitesses du vent

**II-Etude de précipitation :**

Les condition climatique du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique du cour d'eau .se sont la précipitation surtout liquide qui constituant un facteur essentiel intervenant par :

leurs hauteurs annuelles qui déterminent l'abondance fluviale.

Leurs répartitions mensuelles et saisonnières et les totaux journaliers et surtout les averses génératrices de crues

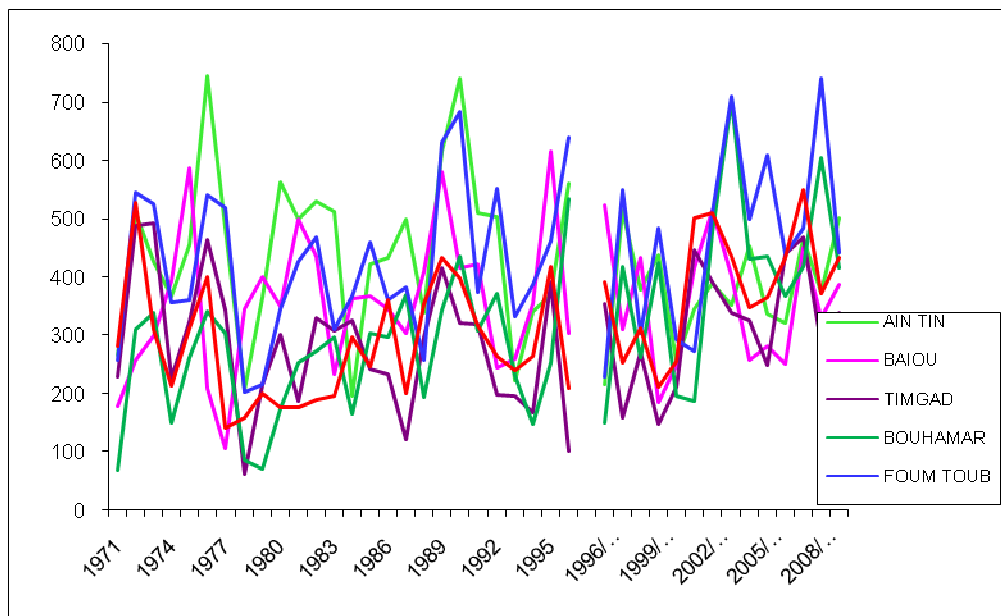
Le réseau pluviométrique du bassin versant d'oued chmorah comporte de 06 stations pluviométriques Qui se reprisassent comme suit :

**Tableau (III-7) : Caractéristique des station pluviométriques du bassin versant de oued chmorah**

N	STATION	CODE	X(km)	Y(km)	Z(m)
01	Ain tin	070405	839.60	237.5	1650
02	Foum toub	070406	849.80	241	1160
03	Baiou	070407	829.65	242.65	1510
04	Bouhamar	070408	837.15	244	1275
05	Timgad	070409	841.75	250.9	1000
06	Sidi mancer	070410	833.25	253.25	1112

Tableau (III-8) : Précipitation annuelles(mm) des station de bassin versant oued chmorah

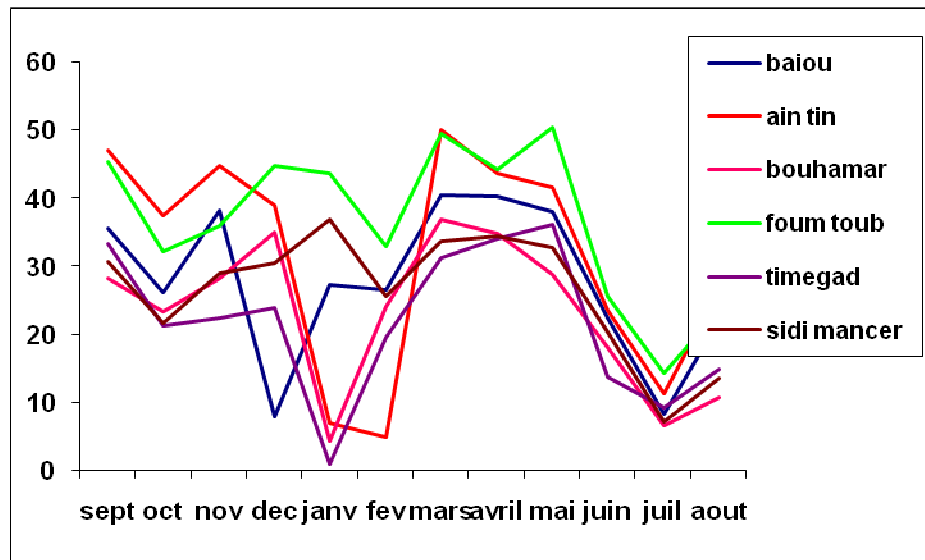
station	AIN TIN	BAIOU	TIMGAD	BOUHAMAR	FOUM TOUB	SIDI MANCER
1970/1971	266,5	179,3	228,7	69,2	257,6	282
1971/1972	510,6	259,3	486,9	310,6	545	529,1
1972/1973	427,5	299,5	491,8	340,3	526,3	310,4
1973/1974	368,4	394,5	225,7	150,5	357	213,9
1974/1975	456,1	587,3	321,9	262,6	362,3	311,6
1975/1976	744,2	209,6	463,4	341,4	541,7	400,8
1976/1977	483,6	107,2	342	303,7	518,8	140,8
1977/1978	206,7	345,1	61,5	85,9	203,8	159,5
1878/1979	366,4	401,1	215,4	72	216,9	200,6
1979/1980	561,8	350,4	300,7	175,2	347,3	176,3
1980/1981	499,6	498	187,7	252,9	426,5	175
1981/1982	528,6	434,8	329,7	273	470	188,5
1982/1983	511,2	233,9	306,9	298,6	310,3	196
1983/1984	196,8	364,4	326	165,9	367,5	297,9
1984/1985	423,2	368,6	242,1	305	461,1	247,3
1985/1986	433,5	346	232	297,7	362	361,6
1986/1987	499,5	305,1	120	370,5	383,4	200,6
1987/1988	339,6	408,7	296,4	195,3	259,4	354
1988/1989	614	579,8	415,8	343,6	631,2	433,1
1989/1990	739,2	416,7	321,4	436,6	683,2	398,1
1990/1991	508,9	422,3	318,7	308,8	374,9	317,1
1991/1992	504,4	244,4	198,1	373	553,3	264,1
1992/1993	222,8	260,8	194,9	232,6	332,6	240,1
1993/1994	340,9	354,9	167,5	148,8	388,8	264
1994/1995	368,7	615,1	391,5	254,3	462,6	419
1995/1996	559,5	303,7	102,1	535,4	641,2	209,8
1996/1997	216,7	523,6	353,6	151,4	230,4	392,5
1997/1998	513,3	311,7	158,8	419,4	550,9	252,8
1998/1999	377,9	433,4	269,7	261,8	304,9	312,4
1999/2000	437,3	187,1	146,6	425	483,7	210,2
2000/2001	256,2	249,7	210,2	195,8	294,6	254,4
2001/2002	345,2	416,7	444,6	188,4	274,1	502,1
2002/2003	390	515	390	477	511,7	510,4
2003/2004	352,7	401,7	337,5	704,1	710,7	435,5
2004/2005	452,3	257,9	325,7	431	500,5	348,2
2005/2006	337,9	283,2	247,3	435,5	610,3	364,6
2006/2007	322,5	250,7	438,5	368,4	440,1	433,5
2007/2008	466,7	452	468,3	417,5	483,8	550,2
2008/2009	373,1	331,2	285,5	605,5	741,3	372,5
2009/2010	502	386,7	338,9	415,5	442,3	432,5



**Figure (III-5) :** Variation des précipitation annuelles station pluviométriques du bassin versant de oued chmorah

**Tableau (III-9) :** Précipitation mensuelles (mm) des station de bassin versant oued chmorah

station	baiou	ain tin	bouhamar	foum toub	timegad	sidi mancer
sept	35,7	47,14	28,26	45,32	33,41	30,66
oct	26,28	37,48	23,29	32,17	21,27	21,62
nov	38,28	44,93	28,26	35,88	22,56	28,97
dec	7,98	39,06	35,04	44,75	24,01	30,59
janv	27,47	6,84	4,27	43,59	1,02	36,9
fev	26,6	4,83	23,99	32,92	19,63	25,61
mars	40,56	50,19	36,85	49,52	31,39	33,72
avril	40,41	43,77	34,75	44,32	34,15	34,49
mai	38,12	41,77	28,74	50,45	36,21	32,8
juin	22,45	23,52	17,93	25,56	13,79	20,36
juil	8,3	11,25	6,54	14,24	9,24	7,16
aout	22,05	26,57	10,75	23,48	14,99	13,54



**Figure (III-6) :** Variation des précipitation mensuelles station pluviométriques du bassin versant de oued chmorah

## II-1-Analyse en comportement (ACP) des précipitation annuelles

L'analyse en composantes principale permet de visualiser l'information contenue dans un tableau de données quantitatives et de concentrer l'information dans nombre réduit de nouvelles variables

Cette méthode est appliquée sur des données des précipitation annuelles dont nous avons à notre disposition en formant une matrice initiale rectangulaire avec en ligne les valeurs des précipitations annuelles de 06 stations et en colonne les 40 années d'observation

Les étapes de l'analyse en composantes principales sont :

Création de la matrice des données brutes.

Calcul des paramètres statistiques

Transformation des données brutes en données centrées réduites

Détermination des valeurs propres à partir de la matrice de corrélation des données centrées réduites

Détermination des composantes principales (CP)

Détermination des composantes principales réduites (CP)

Détermination du coefficient de régression

### Analyse des résultats de l'ACP :

On a procédé à une analyse en composantes principales sur les 40 variables (les années) et ces observations (les postes pluviométriques)

Tableau (III-10) : moyenne Ecart type des variables initiales

<b>moyenne des observation actives</b>	425.65	357.28	292.6	309.99	439.10	316.58
<b>Ecart type des observation actives</b>	128.26	115.96	109.41	140.48	139.37	110.77

Tableau (III-11) :matrice des coefficient de corrélation entre les variables :

<b>STATION</b>	<b>AIN TIN</b>	<b>BAIOU</b>	<b>TIMGAD</b>	<b>BOUHAMAR</b>	<b>FOUM TOUB</b>	<b>SIDI MANCER</b>
<b>AIN TIN</b>	1,00	0,00	0,22	0,39	0,52	0,05
<b>BAIOU</b>	0,00	1,00	0,22	-0,07	-0,06	0,34
<b>TIMGAD</b>	0,22	0,22	1,00	0,15	0,22	0,72
<b>BOUHAMAR</b>	0,39	-0,07	0,15	1,00	0,86	0,35
<b>FOUM OUB</b>	0,52	-0,06	0,22	0,86	1,00	0,30
<b>SIDI ANCER</b>	0,05	0,34	0,72	0,35	0,30	1,00

Seules les quatre première composantes principales ont été calculées, ou la  $C_i$ =nombre des variable alors  $C_i=06$

Dans une analyse en composantes principales ,on travaillé sur a matrice des coefficients de corrélations et les différents résultats sont absolument indépendants des systemes d »unité choisie

Tableau (III-12) : valeur propre ,variance expliqué et variance cumulées ;

<b>Axes</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>Valeur propres</b>	<b>2.57</b>	<b>1.60</b>	<b>0.80</b>
<b>variance expliqué</b>	<b>43%</b>	<b>27%</b>	<b>13%</b>
<b>variance cumulées</b>	<b>43%</b>	<b>70%</b>	<b>83%</b>

La somme des valeur propres des composantes :(2.57+1.60+0.80)=

Le pourcentage d'inertie expliqué par la  $I^{l\text{ème}}$  composante dépend de la valeur propre  $C_i$  et nombre de variable  $nv$  :  $\% = C_i/nv$

Tableau (III-13) : pourcentage d'inertie

composantes	C1	C2	C3
pourcentage d'inertie expliquée	6.43	4	2
pourcentage d'inertie cumulé	6.43	10.43	12.43

Tableau (III-14) : projection des variables actives

	C1	C 2	C 3
AIN TIN	0,59	-0,36	0,45
BAIOU	0,16	0,65	0,68
TIMGAD	0,61	0,59	-0,25
BOUHAMAR	0,81	-0,39	-0,08
FOUM TOUB	0,84	-0,42	0,02
SIDI MANCER	0,68	0,61	-0,26

Tableau (III-15) : Projections des observations

Année	C1	C 2	C 3
1970/1971	-1,57	0,08	-1,59
1971/1972	1,28	0,70	-1,50
1972/1973	0,66	0,23	-0,97
1973/1974	-1,02	0,08	0,61
1974/1975	-0,06	1,06	1,77
1975/1976	1,37	-0,45	-0,41
1976/1977	-0,17	-1,55	-1,18
1977/1978	-2,33	-0,15	0,18
1878/1979	-1,58	0,43	0,75
1979/1980	-0,60	-0,31	1,02
1980/1981	-0,51	-0,35	2,11
1981/1982	-0,01	-0,22	1,32
1982/1983	-0,50	-0,69	-0,22
1983/1984	-0,87	0,86	-0,91
1984/1985	-0,23	-0,40	0,43
1985/1986	-0,23	0,06	-0,01
1986/1987	-0,54	-1,30	0,73
1987/1988	-0,71	1,01	-0,07
1988/1989	1,53	0,85	1,78
1989/1990	1,71	-0,64	1,45
1990/1991	0,09	0,30	0,76
1991/1992	0,16	-1,36	-0,08
1992/1993	-1,23	-0,24	-1,06
1993/1994	-1,03	-0,09	0,22
1994/1995	0,43	1,74	1,10
1995/1996	0,52	-2,21	0,93
1996/1997	-0,82	2,08	-0,03
1997/1998	0,20	-1,39	0,56
1998/1999	-0,53	0,59	0,44
1999/2000	-0,28	-1,76	-0,54
2000/2001	-1,28	-0,10	-1,06
2001/2002	0,00	2,02	-0,84
2002/2003	1,24	1,18	0,05
2003/2004	1,80	-0,36	-0,70
2004/2005	0,56	-0,50	-0,87
2005/2006	0,50	-0,64	-1,00
2006/2007	0,49	0,60	-2,03
2007/2008	1,41	1,39	-0,38
2008/2009	1,38	-0,92	-0,72

**Ajustement de la précipitation annuelle à une loi de probabilité :**

L'analyse statistique de la précipitation à l'échelle annuelle est portée uniquement sur la station représentative.

Elle a permis d'ajuster la série d'observation à la loi log normale, le tableau( III-14 )et la figure () montre la Ajustement des précipitation annuelles de la station fougatoub les résultats de l'autre sont en annexe.

**Tableau (III-16) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales : station de fougatoub**

Valeurs de départ	Valeurs classées	Ordre de classement	Fréquence expérimentale	Variable réduite	Valeur expérimentale	Valeur théorique	Borne inférieure	Borne
257,6	203,8	1	0,013	-2,242	203,8	197,307	154,998	232,90409
545	216,9	2	0,038	-1,781	216,9	230,111	187,522	265,9373
526,3	230,4	3	0,063	-1,534	230,4	249,829	207,4	285,78336
357	257,6	4	0,088	-1,357	257,6	265,106	222,908	301,21324
362,3	259,4	5	0,113	-1,213	259,4	278,066	236,107	314,36978
541,7	274,1	6	0,138	-1,092	274,1	289,599	247,865	326,14777
518,8	294,6	7	0,163	-0,984	294,6	300,171	258,639	337,01675
203,8	304,9	8	0,188	-0,887	304,9	310,062	268,703	347,25872
216,9	310,3	9	0,213	-0,798	310,3	319,454	278,236	357,05959
347,3	332,6	10	0,238	-0,714	332,6	328,476	287,363	366,55074
426,5	347,3	11	0,263	-0,635	347,3	337,223	296,177	375,83054
470	357	12	0,288	-0,560	357	345,768	304,748	384,97626
310,3	362	13	0,313	-0,488	362	354,17	313,133	394,05134
367,5	362,3	14	0,338	-0,419	362,3	362,478	321,377	403,11
461,1	367,5	15	0,363	-0,351	367,5	370,736	329,521	412,20037
362	374,9	16	0,388	-0,285	374,9	378,981	337,599	421,36668
383,4	383,4	17	0,413	-0,221	383,4	387,249	345,642	430,65097
259,4	388,8	18	0,438	-0,157	388,8	395,572	353,679	440,09444
631,2	426,5	19	0,463	-0,094	426,5	403,984	361,739	449,7386
683,2	440,1	20	0,488	-0,031	440,1	412,519	369,85	459,62642
374,9	442,3	21	0,513	0,031	442,3	421,211	378,041	469,80552
553,3	461,1	22	0,538	0,094	461,1	430,109	386,352	480,33885
332,6	462,6	23	0,563	0,157	462,6	439,256	394,819	491,28527
388,8	470	24	0,588	0,221	470	448,697	403,476	502,70938
462,6	483,7	25	0,613	0,285	483,7	458,486	412,366	514,68588
641,2	483,8	26	0,638	0,351	483,8	468,682	421,536	527,30263
230,4	500,5	27	0,663	0,419	500,5	479,359	431,042	540,66472
550,9	511,7	28	0,688	0,488	511,7	490,605	440,951	554,90008
304,9	518,8	29	0,713	0,560	518,8	502,526	451,346	570,16742
483,7	526,3	30	0,738	0,635	526,3	515,26	462,329	586,66782
294,6	541,7	31	0,763	0,714	541,7	528,98	474,034	604,662
274,1	545	32	0,788	0,798	545	543,92	486,634	624,49749
511,7	550,9	33	0,813	0,887	550,9	560,396	500,369	646,65284
710,7	553,3	34	0,838	0,984	553,3	578,861	515,575	671,81391
500,5	610,3	35	0,863	1,092	610,3	599,993	532,757	701,0151
610,3	631,2	36	0,888	1,213	631,2	624,878	552,717	735,92512
440,1	641,2	37	0,913	1,357	641,2	655,427	576,859	779,50151
483,8	683,2	38	0,938	1,534	683,2	695,506	608,004	837,78842
741,3	710,7	39	0,963	1,781	710,7	755,104	653,377	926,59885
442,3	741,3	40	0,988	2,242	741,3	880,643	746,047	1121,0302

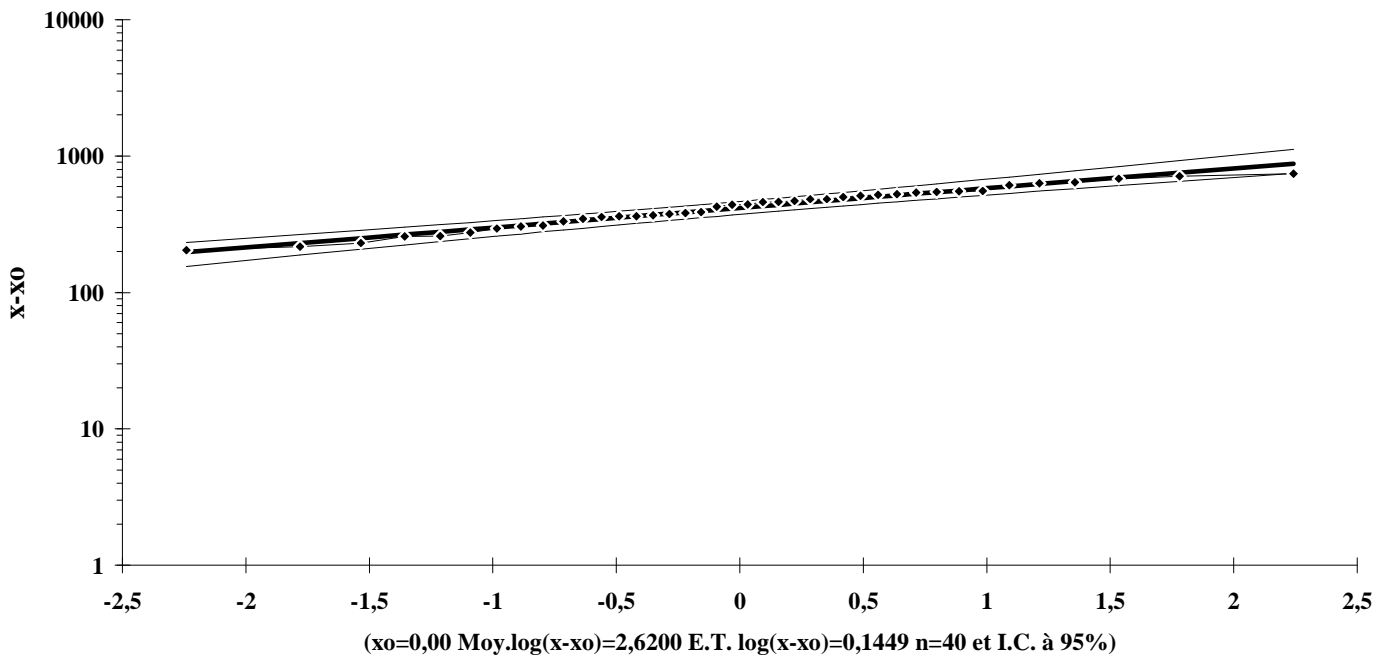


Figure (III-7) : Ajustement de la précipitation annuelle

**III.4- Détermination de la lame d'eau écoulee(R) :**

Dans cette partie on va calculer les paramètres de l'écoulement .il faut donc estimer les crues qui peuvent s'effectuer au future et faire des études sur un bassin versant qui nécessite de savoir toutes les caractéristiques de forme de l'écoulement.

Dans ce cas la on va déterminer la lame d'eau ruisselée au niveau de oued chmorah

Le tableau ci-dessous et représente les débits moyens mensuel Q en m3/s. pour calculer la lame d'eau écoulé il faut déterminer plusieurs paramètres

**a)le débit moyen annuel Q<sub>0a</sub> et l'apport moyen annuel A<sub>0a</sub> :**

$$Q_{0A} = \sum Q_i / 12 \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (\text{III.1})$$

Avec:

Q<sub>i</sub> :débit mensuel de chaque mois.

$$A_{0a} = Q_{0a} * T \quad \text{m}^3 \quad (\text{III.2})$$

Telque  $T = 365 * 24 * 3600 = 31536000\text{s}$ .

**b)calcul du débit moyen intrannuel Q<sub>0</sub> et l'apport moyen intrannuelA<sub>0</sub> :**

$$Q_0 = \sum Q_{0ai} / N \quad \text{m}^3/\text{s} \quad (\text{III.3})$$

Avec :

N: le nombre des années

$Q_{0ai}$  : débit moyen annuel de chaque année.

$$A_0 = Q_0 * T \quad \text{m}^3 \quad (\text{III.4})$$

Avec :  $T = 365 * 24 * 3600 = 31536000 \text{s}$ .

**c) la lame d'eau écoulé moyenne intrannuelle  $L_e$  :**

$$L_e = A_0 / S \quad \text{mm} \quad (\text{III.5})$$

Avec :

$A_0$  : apport moyen intrannuel.

$S$  : la surface du bassin versant  $S = 2500 \text{km}^2$ .

**d) débit spécifique  $M_0$  :**

$$M_0 = Q_0 / S \quad \text{l/s.km}^2. \quad (\text{III.6})$$

**e) coefficient de débit pour chaque année  $K_i$  :**

$$K_i = Q_{0ai} / Q_0 \quad (\text{III.7})$$

on note : -si  $K_i \geq 1$  année humide.

-si  $K_i < 1$  année sèche.

Tableau (III-17) : calcul la lame d'eau écoulée

Année	sept	oct	nov	dec	janv	fev	mars	avril	mai	juin	juil	aout	Q <sub>oa</sub> (m3/s)	A <sub>oa</sub> (m3)	Ki	Li
1969	7,24	2,23	0,64	0,57	2,77	0,95	0,34	2,14	3,33	0,55	0,22	0,09	1,76	55365084,7	2,34	75,71
1970	0,08	0,13	1,81	0,16	0,25	0,26	0,30	0,09	0,59	0,01	0,25	0,02	0,33	10395814	0,44	14,22
1971	1,29	1,28	0,31	0,35	0,68	1,54	2,18	4,75	3,05	1,09	0,09	0,12	1,40	44005611,4	1,86	60,17
1972	2,60	1,98	0,45	0,76	1,42	2,27	5,46	5,96	0,94	0,52	0,29	0,76	1,95	61534515,7	2,60	84,14
1973	0,26	0,16	0,20	2,13	1,63	0,98	1,12	1,71	0,37	0,13	0,14	0,00	0,74	23189096,2	0,98	31,71
1974	0,20	0,26	0,23	0,21	0,19	0,48	0,95	0,96	0,98	0,03	0,00	0,00	0,37	11820971,7	0,50	16,16
1975	1,08	0,23	0,53	0,11	0,23	0,99	3,05	3,73	1,74	3,33	1,16	0,07	1,35	42698923,7	1,81	58,39
1976	0,68	0,42	1,07	0,87	2,00	1,11	0,20	1,34	2,48	1,49	0,04	0,06	0,98	30926177,4	1,31	42,29
1977	0,00	0,01	0,75	0,39	0,30	0,29	0,11	0,07	0,35	0,01	0,00	0,48	0,23	7251685,98	0,31	9,92
1978	0,16	0,36	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	1,70	0,03	0,06	0,00	0,00	0,20	6212963,85	0,26	8,50
1979	3,28	0,30	0,04	0,00	0,01	0,14	0,74	0,35	0,39	0,09	0,00	0,00	0,44	14026512,4	0,59	19,18
1980	0,65	0,13	0,61	0,61	0,86	1,65	1,62	0,78	0,02	0,32	0,00	0,00	0,60	19019563,4	0,80	26,01
1981	1,47	0,29	0,00	0,07	0,07	0,24	0,18	1,89	2,43	1,88	0,00	0,43	0,75	23521988,7	0,99	32,16
1982	2,25	1,20	6,81	0,29	0,37	0,84	0,62	0,28	0,00	0,14	0,00	0,07	1,07	33770750,3	1,43	46,18
1983	0,03	0,26	0,00	0,00	0,02	2,32	1,70	0,84	0,02	0,00	0,03	0,20	0,45	14206225,2	0,60	19,43
1984	0,00	2,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	5913706,93	0,25	8,09
1985	0,54	0,45	0,18	0,20	0,30	0,57	2,37	1,39	0,07	0,03	0,00	0,11	0,52	16326160,9	0,69	22,32
1986	1,42	1,06	0,42	0,42	0,47	0,63	0,63	0,11	0,02	0,00	0,34	0,00	0,46	14510769	0,61	19,84
1987	0,18	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,46	0,42	0,02	0,00	0,10	3026890,46	0,13	4,14
1988	0,14	0,59	0,06	0,10	0,07	0,21	0,23	0,02	1,14	0,71	0,14	0,33	0,31	9822797,91	0,42	13,43
1989	2,69	0,10	0,01	0,02	4,35	2,03	0,95	1,30	3,29	0,42	0,30	0,58	1,34	42177033,2	1,78	57,67
1990	0,09	0,07	0,47	0,21	0,52	0,60	3,85	3,28	0,81	0,77	0,23	0,00	0,91	28664429,2	1,21	39,20
1991	0,34	0,56	0,12	0,25	0,18	0,45	4,39	2,07	4,27	0,46	0,11	0,11	1,11	34984922	1,48	47,84
1992	0,50	0,02	0,64	0,43	0,44	0,57	1,49	0,28	0,05	0,04	0,00	0,00	0,37	11722030,3	0,50	16,03
1993	0,00	0,18	0,02	0,32	0,05	0,05	0,08	0,00	0,12	0,00	0,09	0,42	0,11	3513466,97	0,15	4,80
1994	0,53	0,98	0,00	0,00	0,04	0,01	0,89	0,31	0,02	1,70	0,41	0,10	0,42	13111528,6	0,55	17,93
1995	1,18	2,31	0,00	0,02	4,16	4,79	10,38	2,12	1,63	0,77	0,21	0,00	2,30	72425405,3	3,06	99,03
1996	0,00	0,00	0,00	0,01	0,09	0,04	0,00	0,00	0,53	0,20	0,02	0,15	0,09	2726008,68	0,12	3,73
1997	4,21	0,26	1,71	0,63	0,01	0,00	0,01	0,53	0,79	0,07	0,00	0,70	0,74	23451901,5	0,99	32,07
1998	1,66	0,06	0,00	0,00	0,21	0,15	0,18	0,00	0,74	0,43	0,00	0,00	0,29	9054790,87	0,38	12,38
1999	1,22	0,71	1,24	2,45	0,25	0,08	0,00	0,00	0,98	0,79	0,00	0,56	0,69	21747645,9	0,92	29,74
2000	2,11	0,01	0,02	0,05	0,02	0,00	0,00	0,84	1,48	0,00	0,00	0,00	0,38	11900359,5	0,50	16,27
2001	1,79	2,06	1,08	0,00	0,00	0,00	0,03	0,22	0,00	0,18	0,05	0,00	0,45	14252683,7	0,60	19,49
2002	0,00	0,50	1,62	0,73	0,77	0,12	0,09	1,40	0,01	0,17	0,01	0,01	0,45	14251591,8	0,60	19,49
2003	0,35	0,98	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,50	0,36	0,00	0,62	0,24	7517886,22	0,32	10,28
2004	0,84	0,00	0,94	1,00	0,25	0,54	24,42	4,33	2,06	0,37	0,00	0,13	2,91	91642653,4	3,87	125,31

$Q_0 = 0.75 \text{ m}^3/\text{s}$

$A_0 = 23.63 \text{ Mm}^3$

$L_e = 32.31 \text{ mm}$

$M_0 = 1,0246016/\text{s.km}^2$

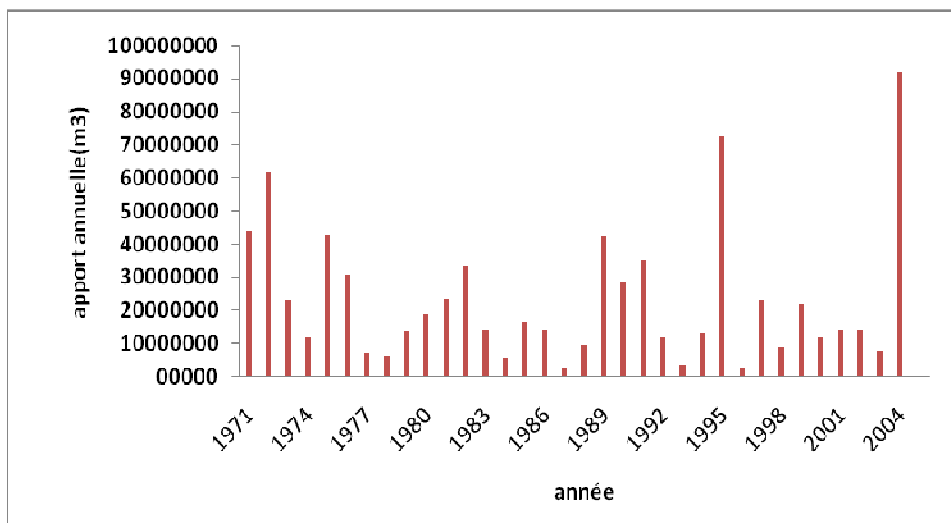


Figure (III-8) : Variation des apports annuels du bassin versant d’oued chmorah

### III-Etude des crues

#### III-1-Etude des pluies journalières maximales

On appelle précipitation toutes les eaux météoriques qui tombent à la surface de la terre sous forme liquide ou solide (neige, pluie, grêle), Pjmax est déterminée par la formule :

$$P_{jmax} = \frac{\bar{P}_e \cdot u \cdot \sqrt{\ln(Cv^2 + 1)}}{\sqrt{Cv^2 + 1}}$$

Cv : coefficient de variation est égal à « 0.21 » déterminé à partir de la carte des isolignes de coefficient de variation=0.32 ;

Pjmax: pluie journalière maximale de fréquence donnée ;

U : variable de GAUSS ;

P : Pluie journalière maximale moyenne (P=48mm).

On aura :  $P = 0.0525 \times P + 18.6$  (III-8)

$P = 0.0525 \times 48 + 18.6 = 21.12 \text{ mm}$

$P = 21.12 \text{ mm}$ .

Tableau (III-18) : Représentation fréquentielle des pluies journalières maximales

<b>Fréquence (%)</b>	0.1	0.5	1	2	5	10
<b>Variable de Gauss</b>	3.099	2.579	2.327	2.057	1.363	1.279
<b>Période de retour (an)</b>	1000	200	100	50	20	10
<b>Pjmax (mm)</b>	52.90	44.77	41.57	38.18	30.76	30.01

### III-2-Pluie de courte durée

Le passage des pluies journalières maximales aux pluies de courte durée de même fréquence se fait, en utilisant la formule suivante :

$$P_{tc} = P_{jmax} \left[ \frac{T_c}{24} \right]^b$$

$P_{jmax}$  : pluie maximale journalière de même fréquence (mm) ;

$P_{tc}$  : pluie de courte durée de fréquence donnée (mm) ;

$T_c$ : temps de concentration ;  $T_c = 13$  heures ;

$b$  : exposant climatique ( $b=0.32$ ) « à partir de la carte des isolignes d'exposant climatique ».

Les pluies de courtes durées génératrices de crues sont représentées dans le tableau suivant :

**Tableau (III-19) :** Pluies de courte durée pour différentes fréquences

<b>Fréquence (%)</b>	0.1	0.5	1	2	5	10
<b>Période de retour (an)</b>	1000	200	100	50	20	10
<b>Ptc(mm)</b>	44.51	38.05	35.33	32.45	26.14	25.50

### III-3-Calcul du débit maximal

#### III-3-1-Détermination des débits moyens journaliers maximums fréquentiels

Pour calculer les débits moyens journaliers maximums fréquentielle nous avons utilisé plusieurs formules: (GIONDOTTI ; TURAZZA ; SOKOLOVSKY).

##### a. Formule de GIONDOTTI

$$Q_{jmax} = \frac{C S P_{tc} \sqrt{H_{moy} - H_{min}}}{4\sqrt{5+1.5L}}$$

S: Surface du bassin versant

$H_{min}$ : Altitude minimale

$H_{moy}$  : Altitude moyenne

C : Coefficient topographique

L : Longueur du talweg principale

$P_{tc}$ : Pluie de courte durée.

**b. Formule de TURAZZA**

$$Q_{jmax}(\%) = \frac{Cr * Ptc * S}{3.6 Tc}$$

Cr : Coefficient de ruissellement=0.90 ;181440

P tc: Pluie de courte durée

S: Surface du bassin Versant3627.6

Tc: Temps de concentration

**c. Formule de SOKOLOVSKY**

$$Q_{maxp}\% = \frac{0.28 * Ptc * Cr * S * F}{Tm}$$

Ptc: Pluie de courte durée

S: Surface du bassin versant

Cr: Coefficient de ruissellement)=0.90

Tm=Tc: Temps de concentration

F : Coefficient de forme de l'hydrogramme de crue

$$F = \frac{(m + 1) + (n + 1)}{(n + 1) + (m + 1)}$$

$$n=3, m=2$$

**Tableau (III-20) :**Calcul de Qjmax par les différentes formules empiriques.

Période de retour (an)	Qjmax GIONDOTTI(m3/s)	Qjmax TURAZZA(m3/s)	Qjmax SOKOLOVSKY(m3/s)	Fréquence (%)
1000	309,56	161,46	162,76	0.999
200	264,63	138,03	139,13	0.995
100	245,71	128,16	129,18	0.99
50	225,68	117,72	118,66	0.98
20	181,80	94,83	95,58	0.95
10	177,35	92,50	93,24	0.9

### III-4-Hydrogramme de crue

L'hydrogramme de crue représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps, il permet de déterminer les caractéristiques de la crue, forme, volume, temps de montée et temps de descente, la forme de l'hydrogramme de crue est déterminée selon la méthode de SOKOLOVSKY, qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques, l'une traduisant la montée de la crue qui s'écrit :

$$Q_{montée} = Q_{max} \left( \frac{T}{T_m} \right)^2$$

Et l'autre traduisant la descente qui s'écrit :

$$Q_{déc} = Q_{max} \left( \frac{T_b - T}{T_d} \right)^3$$

$T_m$  : temps de montée de la crue ( $T_m = T_c$ )

$T_d$ : temps de décrue ( $T_d = \gamma \cdot T_c$ ) ;

$Q(t)$  : débit maximum d'une fréquence  $X$  (%) ;

$m=2$  et  $n=3$  : puissance des équations ;

$\gamma$ : est évalué en fonction de la taille du cours d'eau de la perméabilité et du taux de boisement du bassin versant.

Description du cours d'eau	$\gamma$
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versants faiblement perméables	2 à 2.5
Petit cours d'eau et vallons dans les bassins versants boisés ou perméables Moyen cours d'eau avec terrasses de lit majeures normales.	3 à 4
Grand et moyen cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues	4 à 7

Pour notre bassin versant la valeur prise est  $\gamma = 3$ .

$$T_d = \gamma \cdot T_m$$

$$T_d = 42h.$$

$$T_b = T_m + T_d$$

$$T_b = 56h.$$

Tableau (III-21) :Calcul de  $Q_{jmax}$  par les différentes formules empiriques.

Temp(h)	$Q_{jmax}(10\%)=309,56m^3/s$	$Q_{jmax}(1\%)=245,71m^3/s$	$Q_{jmax}(0.1\%)=177,35m^3/s$
0	0.00	0,00	0.00
2	6,32	5,03	3.62
4	25,28	20,06	14.48
6	56,86	45,13	32.58
8	101,08	80,23	57.91
10	157,94	125,36	90.49
12	227,43	180,52	130.30
14	309.56	245.71	177.35
16	267,41	212,25	153.70
18	229,27	181,98	131.35
20	194,94	154,73	111.68
22	164,25	130,35	94.08
24	136,91	108,67	78.44
26	112,81	89,54	64.63
28	91,72	72,80	52.55
30	73,45	58,29	42.09
32	57,77	45,84	33.09
34	44,49	35,31	25.49
36	33,43	26,53	19.15
38	24,36	19,34	13.96
40	17,11	13,58	9.80
42	11,47	9,10	6.57
44	7,22	5,73	4.14
46	4,19	3,32	2.40
48	2,15	1.70	1.23
50	0,91	0.72	0.52
52	0,27	0.21	0.15
54	0,03	0.02	0.02
56	0.00	0.00	0.00

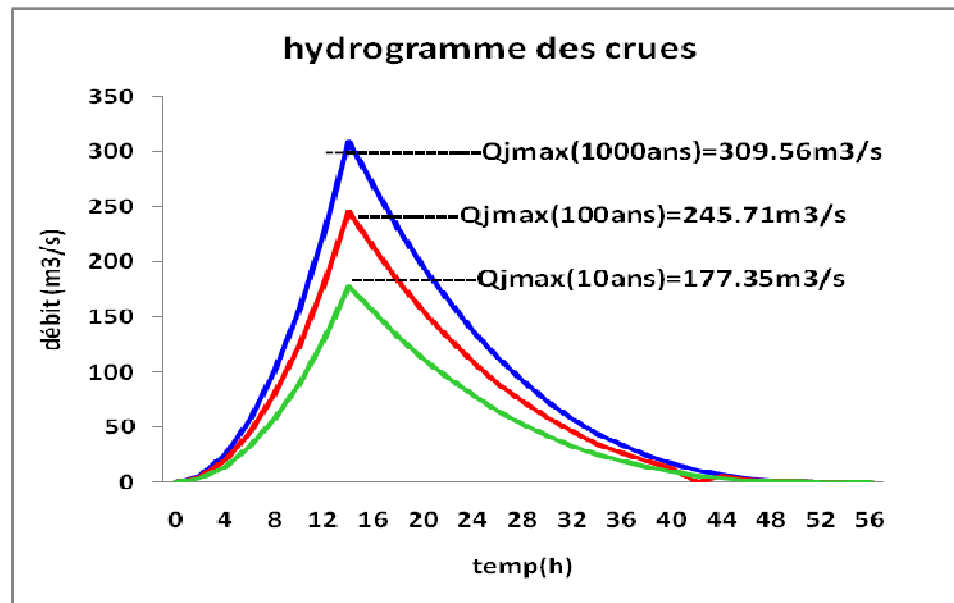


Figure (III-9) : Hydrogramme de crues exceptionnelles

### Conclusion :

L'examen des données climatiques nous a permis de définir deux périodes différentes :

- Une saison sec un climat sec qui s'étend de mai à aout
- Une saison froide, avec un climat humide tempéré s'étend de septembre à avril.
- La température moyenne est environ de 20.58°C.
- Le régime climatique du bassin versant d'oued chmorah est humide et tempéré.
- La valeur de la lame d'eau ruisselée calculée dans la station d'oued chmorah est

de 32.31 mm

# **Chapitre IV**

## **Méthodes et matériels**

## Introduction :

Comme on sait le transport par suspension c'est le cas où les particules restent occasionnellement en contact avec le fond, c'est à dire elles se déplacent par bonds et restent souvent entourées d'eau.

### I- Collecte et mise en forme des données :

La collecte et mise en forme des données est la phase la plus délicate et la plus difficile en hydrologie.

La collecte des données consiste en un dépouillement systématique de tous les fichiers de hauteur d'eau, et de leurs concentrations en matière en suspension correspondantes en g/l.

La station de oued chmorah dispose d'une longue série de mesure hauteur d'eau – débit liquide (1971 jusqu'à 1996)

Des prélèvements quotidiens des hauteurs d'eau, dont la fréquence augmente surtout en période de crue, sont effectués pour l'estimation du transport solide

### II- Dépouillement des données :

A la station de oued chmorah, nous disposons une grande série de mesure, environ 1951 valeurs de débits instantanés  $Q_1$  en  $m^3/s$

La série en question a été mise sous forme d'un fichier  $T_s$  (transport solide) de base.

Les données obtenues ont été classées donc par l'heure et la hauteur en cm.

Cette banque de données a été sélectionnée pour la recherche d'un modèle mathématique entre le débit solide et le débit liquide  $Q_s=f(Q_1)$ ,  $Q_1=f(h)$ ,  $C=f(Q_1)$ ,  $Q_1=f(S)$  Et déterminer une relation entre la concentration et la surface  $C=f(S)$ .

La relation  $Q_s=C.Q_1$  nous a permis d'obtenir le débit solide en kg/s pour chaque hauteur sur la base des matières en suspension.

Nous disposons donc d'un fichier global comprenant la date, l'heure, la hauteur d'eau en cm, le débit liquide instantané en  $m^3/s$ , la concentration en matière en suspension en g/l et le débit solide instantané en kg/s de tous les prélèvements effectués.

Il est à remarquer que nous ne disposons pas de toutes les valeurs relatives ou transport solide lors de crues qui varient d'une année à l'autre, charriant une quantité de sédiment variable dans le temps.

### **III- Présentation et mise en forme :**

#### **III.1- Classification des données :**

Nous avons dans notre fichier de base pour la station de oued chmorah, de 1951 couples de valeurs instantanés de débits solide et de débit liquide observées d'une période de 25 ans pour la station de oued chmorah

Chaque année hydrologique a été marquée par ces évènements exceptionnels (crues) ou par l'absence de prélèvement pour certaines périodes pour des raisons bien différentes.

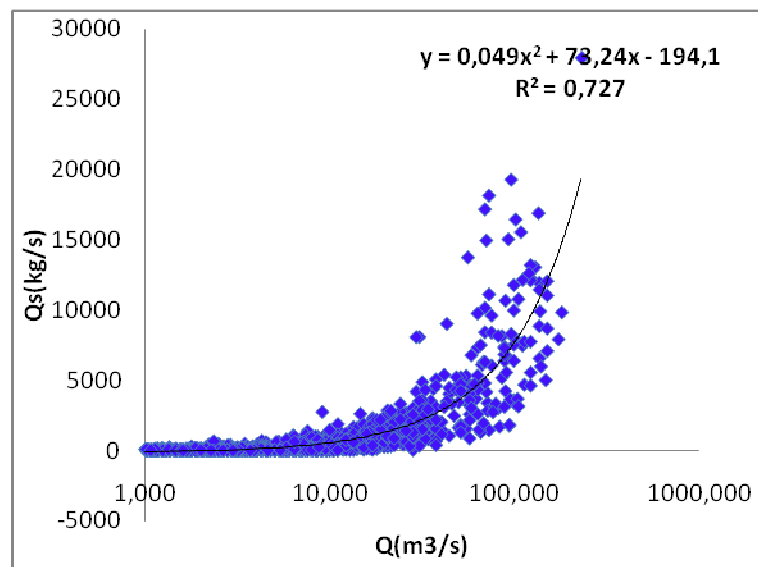
Pour bien mettre en forme toutes les données, qui seront exploités, ces derniers ont été classées et ordonnées à partir d'un calcul détaillé de nombre exacts d'échantillons relatifs à chaque année tout en calculant le nombre de données mensuelles

Toutes les données dont la taille a été déterminée constituent des échantillons nécessaires à la recherche d'une relation significative reliant le débit solide au débit liquide et pour déterminer une relation entre la concentration et la surface  $C=f(S)$ .

Plus le nombre de données est important, plus sa réduction au nombre d'un modèle donne une meilleure approximative possible ou problème posé.

Les périodes ou les prélèvements n'ont été pas effectués peuvent avoir un effet direct sur le résultat final du traitement.

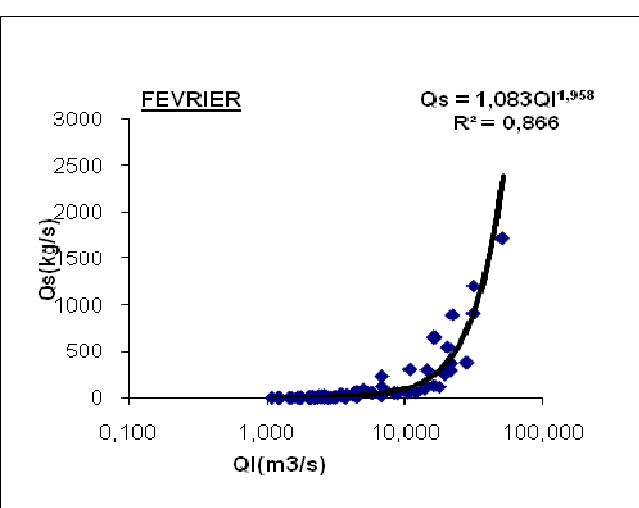
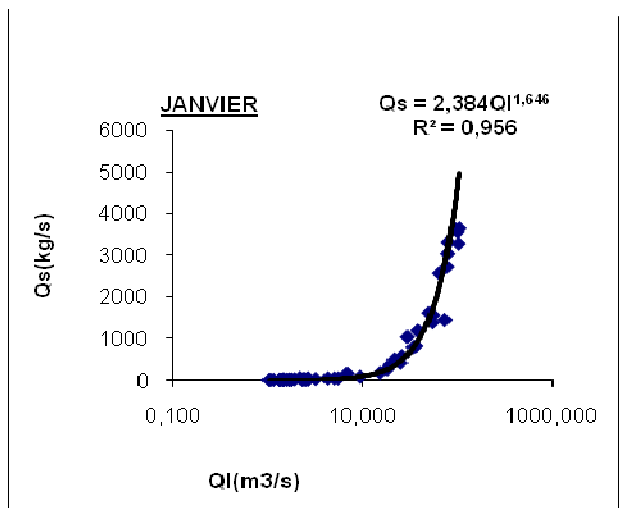
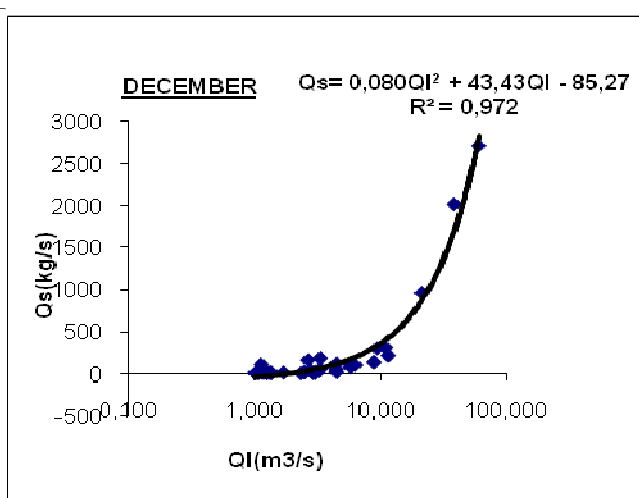
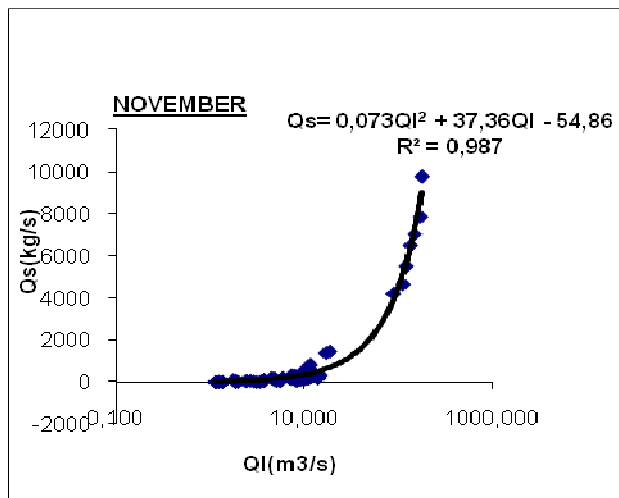
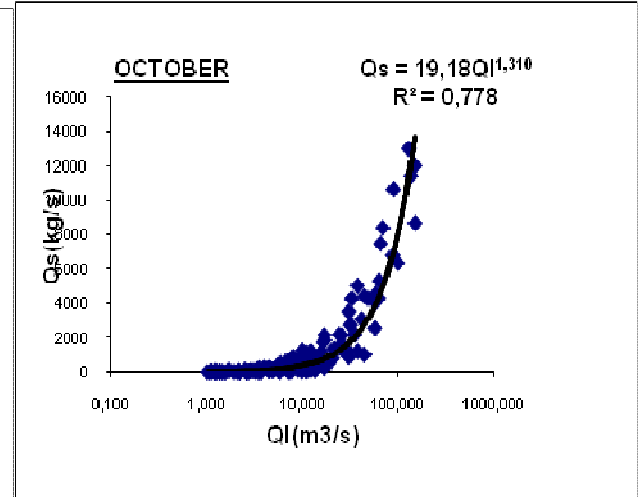
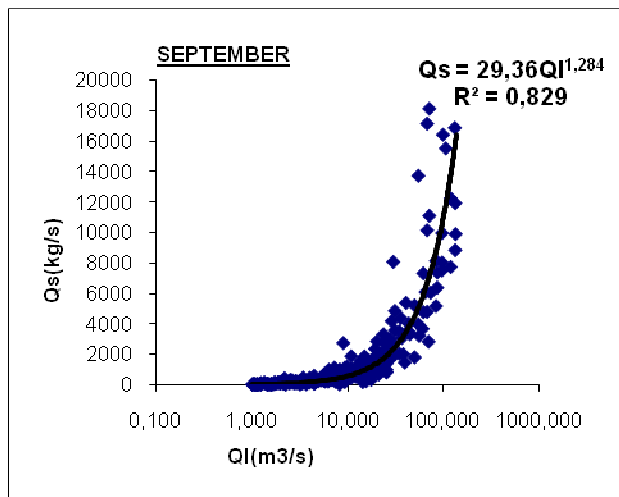
Avant de toute tentative de traitement nous essayons de représenter graphiquement toutes les données afin d'avoir la présentation approximative des débits solides à différentes échelles (saisonniers, annuelle, mensuelle et pour toute la période d'observation) de toutes les données.



**Figure IV.1:** Répartition débit solide – débit liquide : totalité des données de 1968-1996 à la station de.

### III.2- Répartition mensuelle des débits solides et débits liquides :

Pour suivre l'évolution du débit solide en fonction du débit liquide dans le temps, et dans le but d'avoir une idée plus précise sur la forme des données, une mise en graphe de toutes mensuelles du couple (Qs, Ql) est imposée.



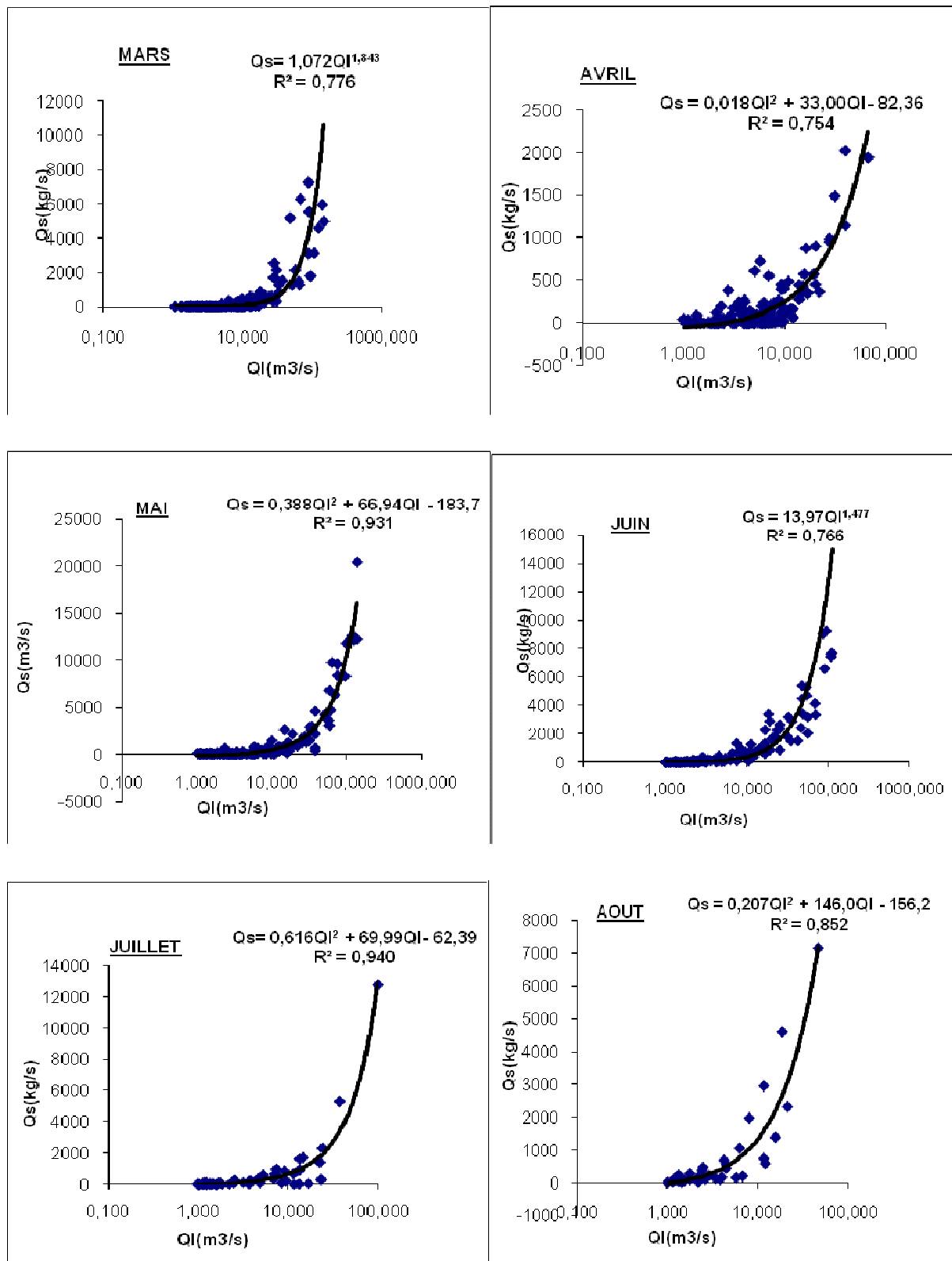


Figure IV.1: Répartition mensuelle des débits solides –débits liquides.

Chaque mois est marqué par une forme spécifique caractérisant la variation des apports solide en fonction des apports liquides, cette variation nous renseigne sur les limites que peut atteindre le couple ( $Q_s, Q_l$ ), ainsi que les périodes ou des évènements extrêmes ont été enregistrés.

Les résultats de la représentation graphique des couples débit liquide-débit solide à l'échelle mensuelle sont présentés dans le tableau ci-dessous.

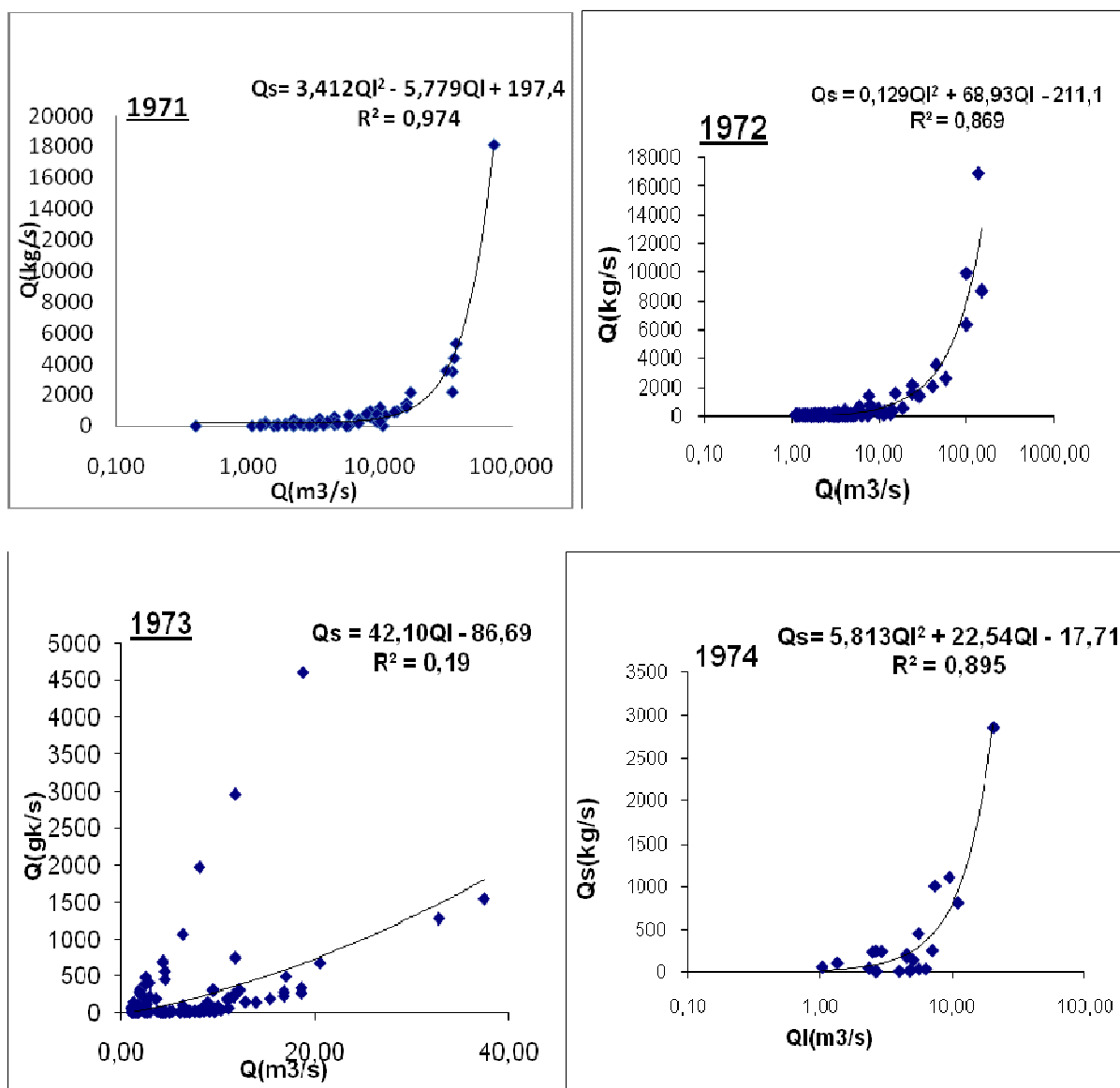
**Tableau (IV -1) :** Modèles retenus et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle mensuelle pour la station de Chemorah.

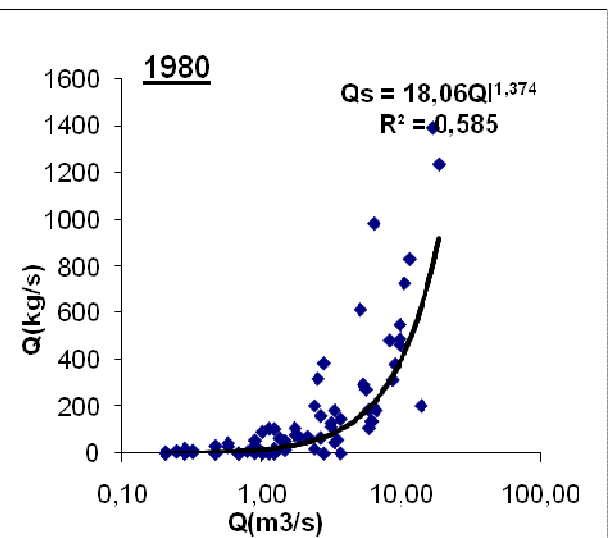
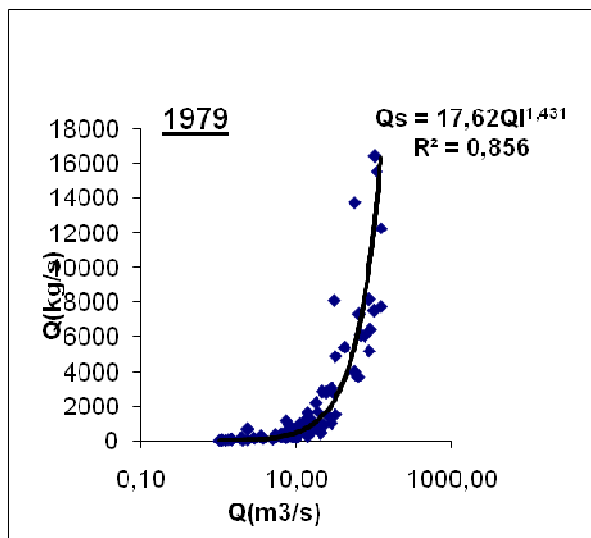
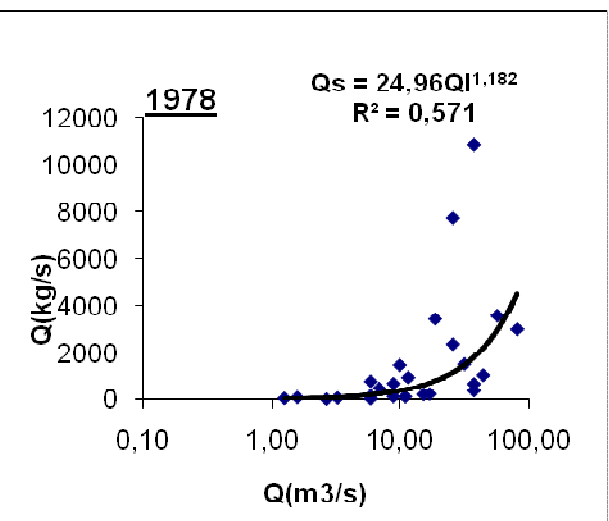
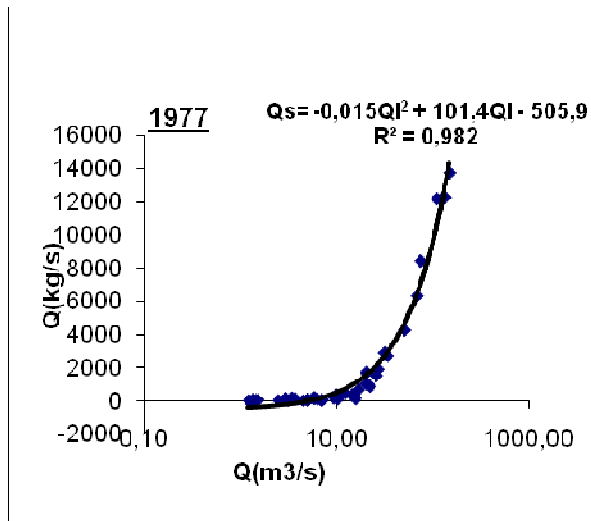
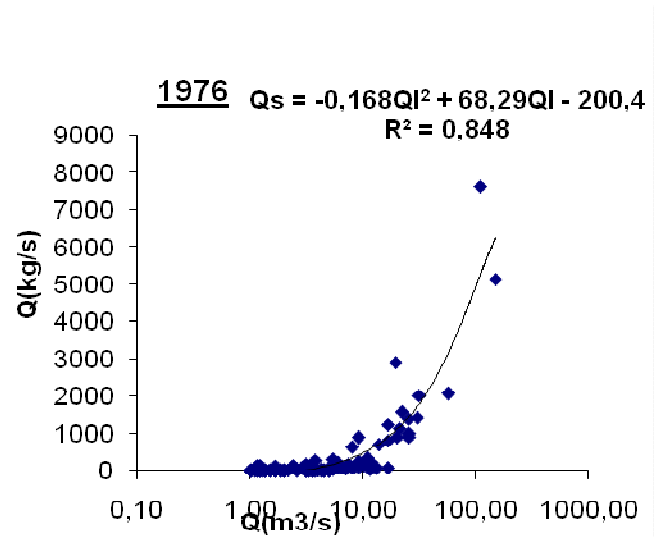
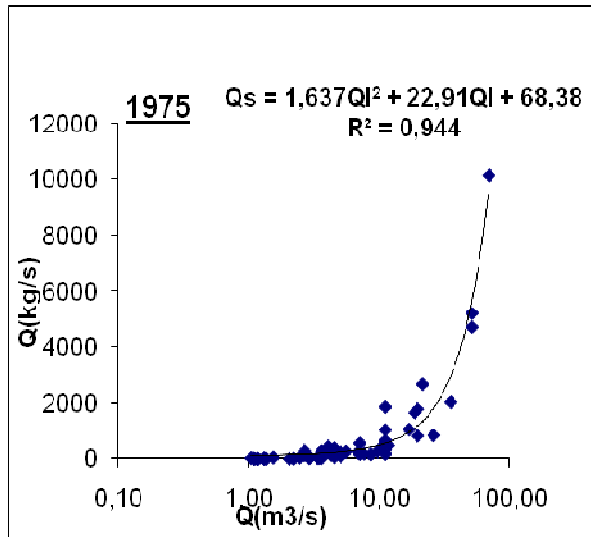
Echelle Temporelle	Type de modèle	Modèles retenus	Coefficient de corrélation ( $R^2$ )
Septembre	Puissance	$Q_s=29.36Q_l^{1.284}$	0.82
Octobre	Puissance	$Q_s=19.18Q_l^{1.31}$	0.77
Novembre	Polynomiale	$Q_s=0.073Q_l^2+37.36Q_l-54.86$	0.98
Décembre	Polynomiale	$Q_s=0.08Q_l^2+43.43Q_l-85.27$	0.97
Janvier	Puissance	$Q_s=19.18Q_l^{1.31}$	0.95
Février	Puissance	$Q_s=1.083Q_l^{1.958}$	0.86
Mars	Puissance	$Q_s=1.072Q_l^{1.958}$	0.77
Avril	Polynomiale	$Q_s=0.018Q_l^2+33Q_l-82.36$	0.75
Mai	Polynomiale	$Q_s=0.388Q_l^2+66.94Q_l-183.7$	0.93
Juin	Puissance	$Q_s=13.97Q_l^{1.477}$	0.76
Juillet	Polynomiale	$Q_s=0.616Q_l^2+69.99Q_l-62.39$	0.94
Août	Polynomiale	$Q_s=0.207Q_l^2+146Q_l-156$	0.85

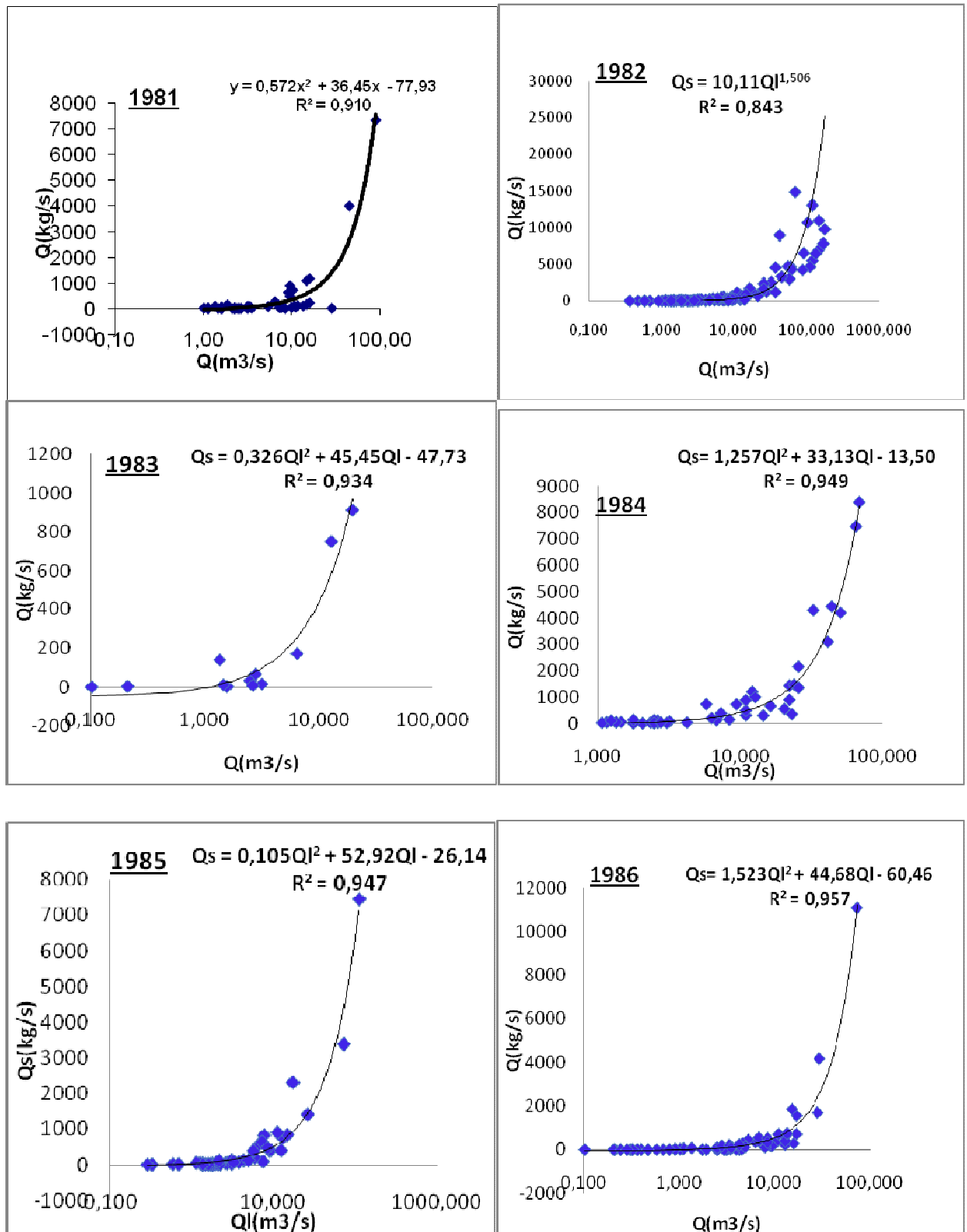
### III.3- Répartition annuelle des débits solides- débits liquides :

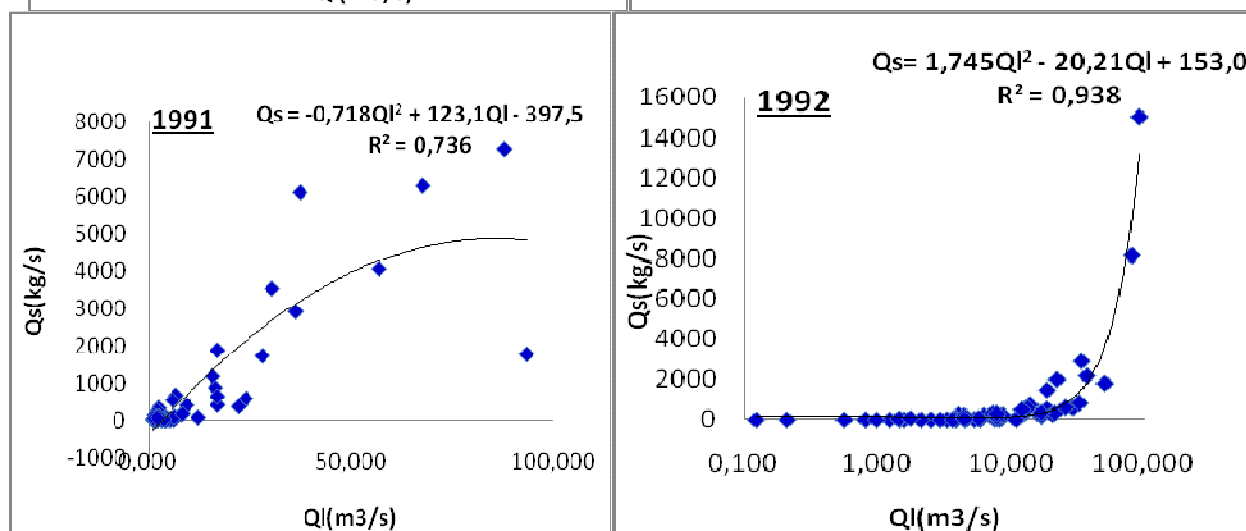
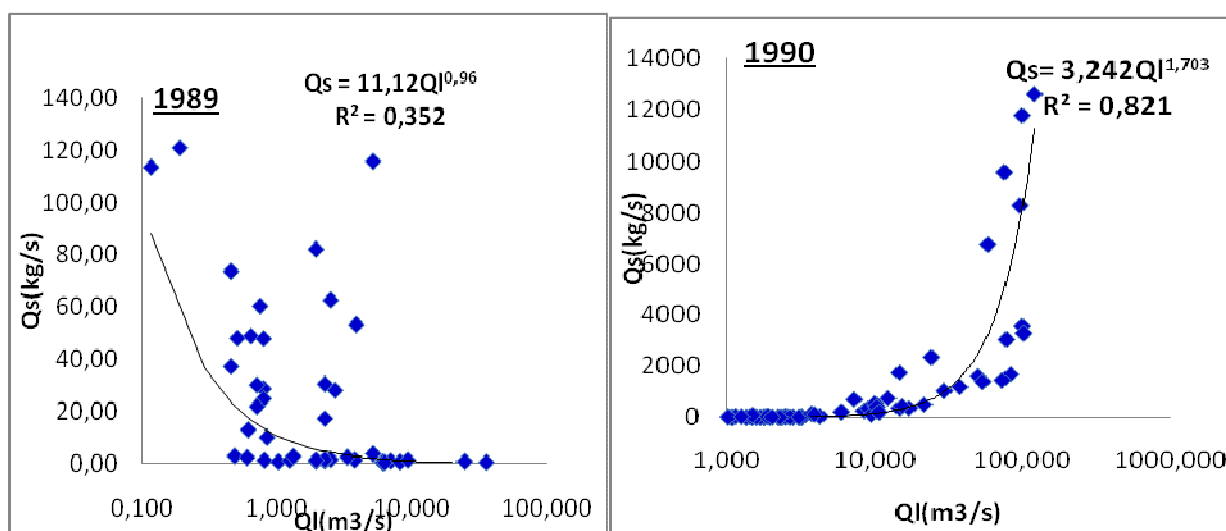
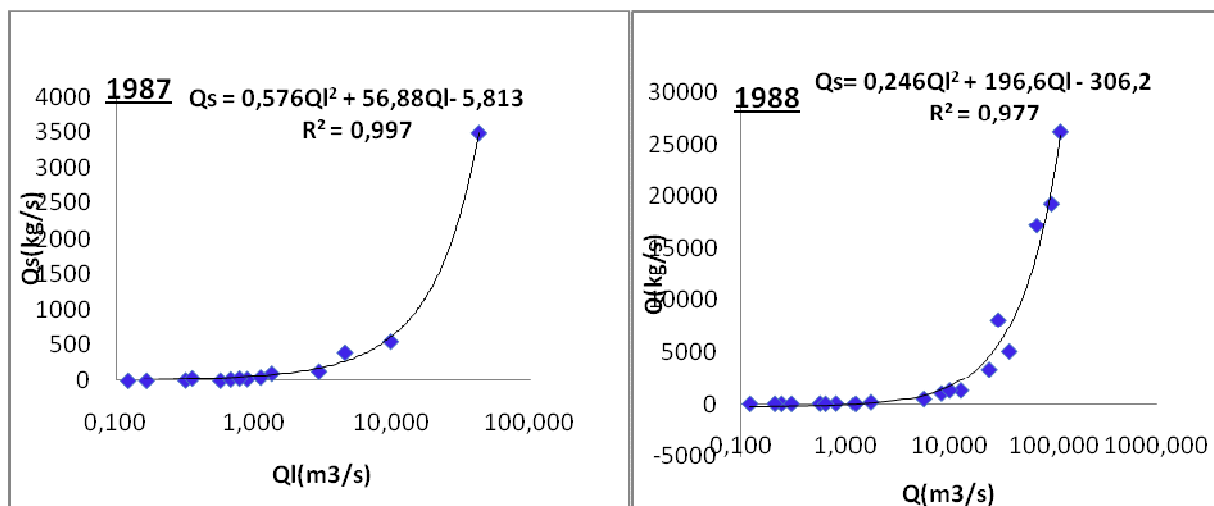
La longue série de données mise à notre disposition nous incite à rechercher les années qui peuvent avoir une influence directe sur le calcul des apports solides.

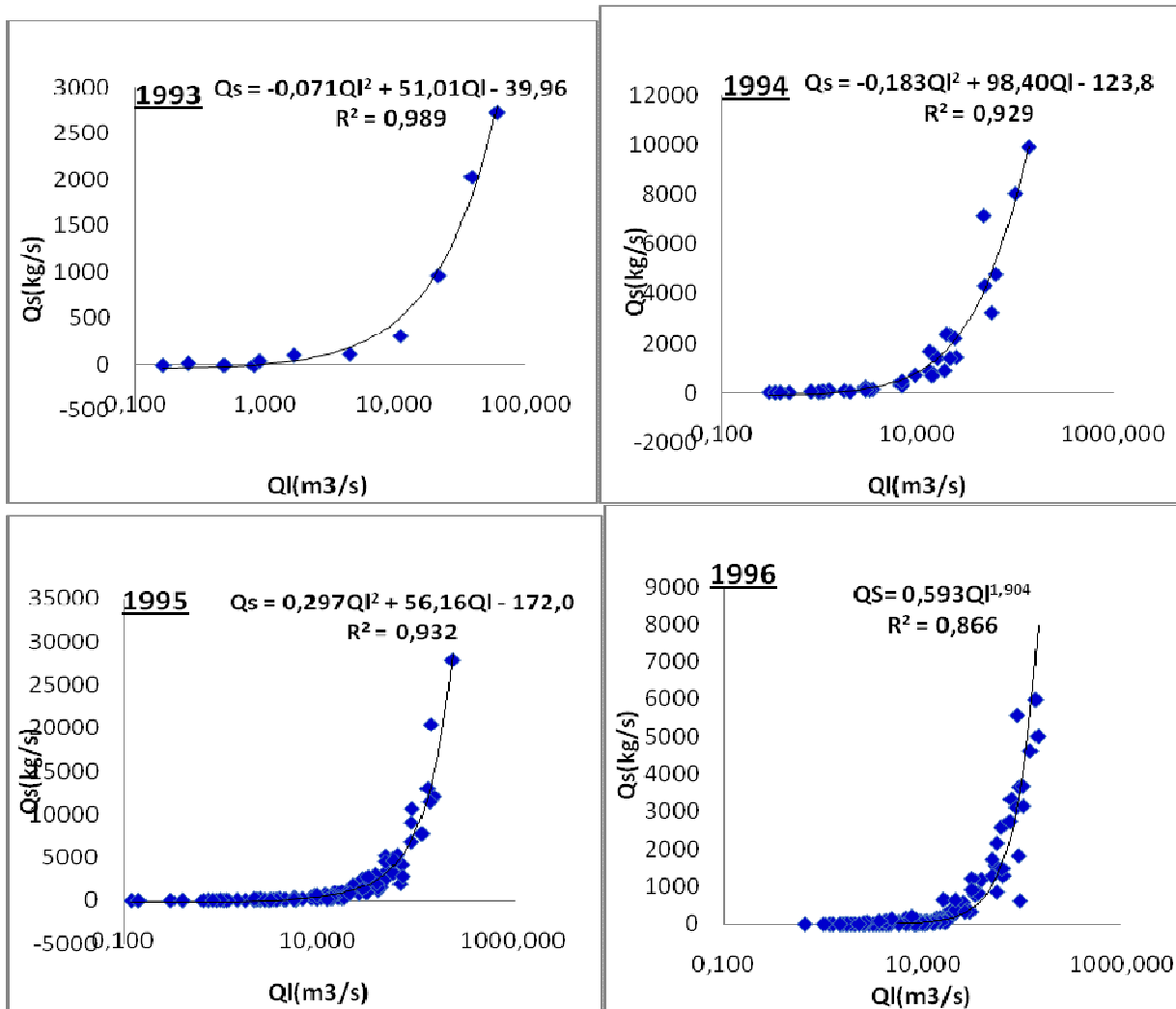
Les graphes qui représentent le couples (Qs,QI) donnent au préalable toutes les informations relatives à l'évolution du couple (Qs,QI) dans le temps et une meilleure explication de la variation annuelle du débit solide en fonction du débit liquide











Figure(IV-2) : Répartition annuelle des débits solides –débits liquides.

Le tableau présenté ci-dessous montre les résultats de la représentation graphique des couples.

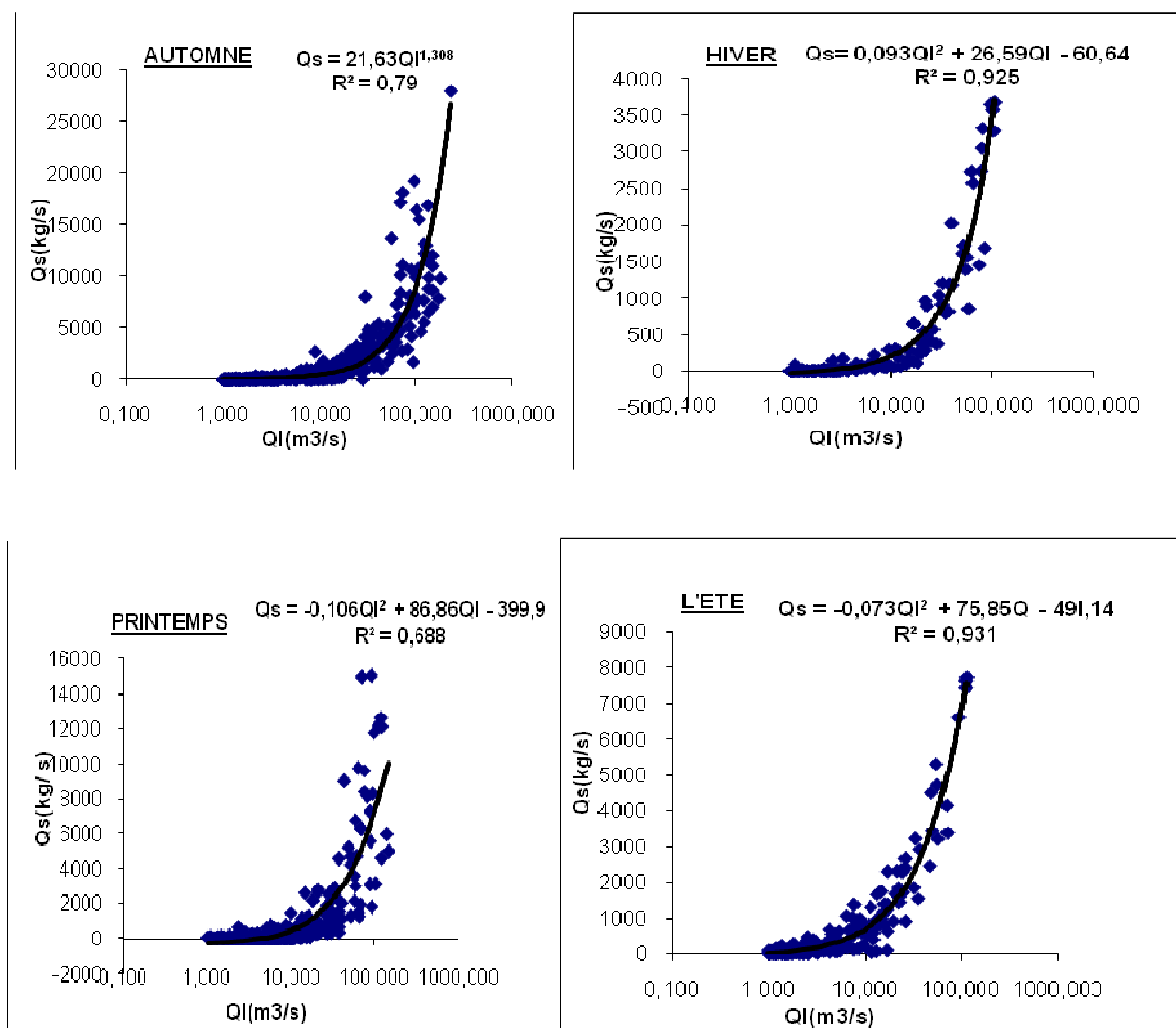
**Tableau(IV-2):** Modèles retenus et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle annuelle pour la station de Chemorah.

Echelle Temporelle	Type de modèle	Modèles retenus	Coefficient de corrélation (R <sup>2</sup> )
1971/1972	Polynomiale	$Q_s=3.412QI^2-2.779QI+197.4$	0.974
1972/1973	Polynomiale	$Q_s=0.129QI^2+68.93QI-211.1$	0.869
1973/1974	Linéaire	$Q_s=42.10QI-86.69$	0.19
1974/1975	Polynomiale	$Q_s=5.813QI^2+22.54QI-17.71$	0.895
1975/1976	Polynomiale	$Q_s=1.637QI^2+22.91QI+68.38$	0.944
1976/1977	Polynomiale	$Q_s=-0.168QI^2+68.29QI-200.4$	0.848
1977/1978	Polynomiale	$Q_s=-0.015QI^2+101.4QI-505.9$	0.982
1978/1979	Puissance	$Q_s=24.96QI^{1.182}$	0.571
1979/1980	Puissance	$Q_s=17.62QI^{1.431}$	0.856
1980/1981	Puissance	$Q_s=18QI^{1.374}$	0.585
1981/1982	Polynomiale	$Q_s=0.572QI^2+36.45QI-77.93$	0.91
1982/1983	Puissance	$Q_s=10.11QI^{1.506}$	0.84
1983/1984	Polynomiale	$Q_s=0.326QI^2+45.45QI+47.73$	0.93
1984/1985	Polynomiale	$Q_s=1.2572QI^2+33.13QI-13.5$	0.94
1985/1986	Polynomiale	$Q_s=0.105QI^2+52.929QI-26.14$	0.94
1986/1987	Polynomiale	$Q_s=1.52QI^2+44.68QI-60.46$	0.95
1987/1988	Polynomiale	$Q_s=0.576QI^2+56.88QI-5.813$	0.99
1988/1989	Polynomiale	$Q_s=0.246QI^2+196.69QI-306.2$	0.97
1989/1990	Puissance	$Q_s=11.12QI^{0.96}$	0.35
1990/1991	Puissance	$Q_s=3.2426QI^{1.703}$	0.82
1991/1992	Polynomiale	$Q_s=0.718QI^2+123.1QI-397.5$	0.73
1992/1993	Polynomiale	$Q_s=1.745QI^2-20.21QI+153$	0.93
1993/1994	Polynomiale	$Q_s=-0.071QI^2+51.01QI-39.96$	0.99
1994/1995	Polynomiale	$Q_s=-0.183QI^2+98.4QI-123.8$	0.93
1995/1996	Polynomiale	$Q_s=0.2972QI^2+56.16QI-1172$	0.93
1996/1997	Puissance	$Q_s=0.593QI^{1.904}$	0.86

#### III.4- Réparation saisonnière des débits liquides- débits solides :

Vu l'influence des saisons sur le phénomène du transport solide, la visualisation de l'ensemble des données à l'échelle saisonnière permet d'identifier la saison la plus contribuable à l'érosion du bassin de Chemorah.

La visualisation des données brutes d'observation quotidienne (série des débits liquide en m<sup>3</sup>/s et des concentrations en g/l) a montré que les concentrations moyennes saisonnières sont plus élevées en automne. Mais les apports solides en hiver sont les plus importants.



Figure( IV.3 ): Variation saisonnière des débits solides –débits liquides

Le Tableau (IV-3 ) présenté ci-dessous montre, les résultats de la représentation graphique des couples débit liquide et débit solide à l'échelle saisonnière pour les saisons représentatives d'hivers et du printemps et aussi sur les deux grands saisons, Eté et Automne pour de la station hydrométrique étudiée Chemorah.

**Tableau (IV-3):** Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle Saisonnière pour la Station de Chemorah.

Echelle Temporelle	Type de modèle	Modèles retenus	Coefficient de corrélation ( $R^2$ )
Automne	Puissance	$Q_s = 21.63Q_l^{1.308}$	0.79
Hiver	Polynomiale	$Q_s = 0.093Q_l^2 + 75.85Q_l - 49.14$	0.92
Printemps	Polynomiale	$Q_s = -0.106Q_l^2 + 86.86Q_l - 399.9$	0.68
Eté	Polynomiale	$Q_s = -0.073Q_l^2 + 26.59Q_l - 60.64$	0.93

#### IV- Traitement et interprétation des résultats :

##### IV.1- Généralité :

Pour prédire l'effet du transport solide par suspension et pour établir des relations empiriques entre les facteurs contribuant au phénomène et pour définir une relation entre les différents paramètres débit liquide, le débit solide, la concentration, la hauteur du cours d'eau et la surface mouillée, l'analyse hydrologique emploie des méthodes ayant recours à la mathématique en général et à la statistique en particulier.

Ces méthodes statistiques exigent que les données soient bien organisées et bien stockées, pour parvenir à une décision ou une conclusion.

Le principal but à atteindre avec la présente étude est l'exploitation de cette banque de données pour l'estimation de sédiments qui transitent à travers le cours d'eau considéré et pour déterminer une relation entre la concentration et la surface.

A cet effet, nous avons soumis les données préparées à un traitement statistique et informatique pour identifier le meilleur modèle régressif entre la variable explicative (débit liquide) et la variable expliquée (débit solide). Ces deux variables aléatoires  $Q_s$ - $Q_l$  constituent les paramètres clés de notre étude.

## I.1- Méthode de régression linéaire :

### I.1.1- Avantage d'un modèle :

Le chercheur a souvent à prendre des décisions au sujet des phénomènes dont il ne connaît le comportement que par les données mesurées.

La connaissance fondamentale des phénomènes en question nous permet de proposer un modèle précis qui a pour avantage :

- L'exploitation des données expérimentales, exprimant le mieux possible un problème donné.
- Réduction de l'ensemble de données ou nombre de modèle, tout en gardant l'information contenue dans les données.
- Simulation du comportement du système

### I.1.2- Estimation des paramètres du modèle :

En pratique, avant de procéder à l'estimation, il est intéressant de vérifier si le modèle proposé est linéaire ou linéarisable.

En fait, un modèle est linéaire s'il peut s'écrire sous la forme :

$$Y=A+BX \quad (\text{IV.1})$$

Un modèle est linéaire s'il peut être ramené à la forme (I) par un changement de variable.

En général, pour les modèles linéaires ou linéarisables, la méthode des moindres carrés est la plus utilisée pour l'estimation des paramètres, mais concernant les modèles non linéarisables, le recours aux méthodes de programmation non linéarisable est inévitable.

### I.1.3- Méthode des moindres carrés :

La méthode des moindres carrés est un outil mathématique permettant de faire une approximation de données par une fonction analytique.

Cette méthode consiste à minimiser la somme des carrés des écarts entre les valeurs observées et les valeurs théoriques d'une fonction.

La droite qui approche un ensemble de points, obéissant à la norme :

$$\sum_{i=1}^n E^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2 \quad (\text{IV.2})$$

Est la meilleure droite d'ajustement, avec  $y^*$  est fonction analytique.

La droite présentant cette propriété est dite, s'ajuster aux données au sens des moindres carrés, et elle est appelé « droite de régression au sens des moindres carrés ».

#### I.1.4- Coefficient de corrélation :

On est amené à déterminer statiquement le degré de liaison d'une relation de régression par la détermination d'un coefficient de corrélation « r » défini par la formule :

$$r = \sqrt{\frac{[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (\text{IV.3})$$

Avec :

$X_i$  : variable connue, correspond à un débit liquide Ql instantané.

$Y_i$  : variable connue, correspond à un débit solide Qs instantané.

$\bar{x}_i$  : Moyenne arithmétique de la série «  $x_i$  ».

$\bar{y}_i$  : Moyenne arithmétique de la série «  $y_i$  ».

n : taille de série.

Le coefficient de détermination «  $R^2$  » est toujours compris entre 0 et 1, il vaut (1) dans le cas d'une liaison fonctionnelle parfaite, il vaut (0) dans le cas contraire. Il explique surtout la part de la variance totale.

#### I.2- Présentation des modèles régressifs :

##### I.2.1- Modèle linéaire « type droite » :

C'est un modèle de type linéaire, son équation de droite est de la forme suivante :

$$Y = A + BX \quad (\text{IV.4})$$

« B » représente la pente de la droite et est égale à :

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n y_i)}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (\text{IV.5})$$

« A » est l'ordonnée à l'origine de la droite et est égale à :

$$A = \bar{y} - B\bar{x} \quad (\text{IV.6})$$

$\bar{x}$  et  $\bar{y}$  sont les plus moyennes arithmétiques respectivement de la série des  $X_i$  et de la série des  $Y_i$

### I.2.2- Modèle logarithmique :

Ce modèle est gouverné par l'équation suivante :

$$Y = \text{Ln}X + B \quad (\text{IV.7})$$

### I.2.3- Modèle de l'exponentiel :

L'équation de ce modèle est de la forme suivante :

$$Y = A \cdot e^{BX} \quad (\text{IV.8})$$

Nous obtenons l'équation suivante pour une transformation logarithmique :

$$\text{Ln}Y = \text{Ln}A + \text{Ln}e^{BX} \quad \text{ou} \quad \text{Ln}Y = \text{Ln}A + BX \quad (\text{IV.9})$$

Et pour une équation de droite on transforme l'équation obtenue.

### I.2.4- Modèle puissance :

L'équation de ce modèle est de forme suivante :

$$Y = AX^B \quad (\text{IV.10})$$

Si on introduit le logarithme népérien on a :

$$\text{Ln}Y = \text{Ln}A + B \text{Ln}X$$

### I.2.5- Modèle polynomial :

Pour un modèle linéaire et dans le cas d'un polynôme de 2ème degré, l'équation de la parabole est de la forme suivante :

$$Y=A+BX+CX^2 \quad (\text{IV.11})$$

Pour cette équation afin de déterminer les valeurs des coefficients A, B, C, il faut résoudre un système de trois équations à trois inconnues.

Ces trois équations sont des équations normales.

#### Remarque :

Vu l'importance de la quantité des données mises à notre disposition, nous allons rechercher les modèles régressifs, traiter leurs caractéristiques et déterminer les valeurs des coefficients de corrélation  $R^2$  à l'aide de l'Excel

## II- Traitement des données :

Pour trouver une formulation mathématique de notre but d'étude ( $C=f(S)$ ) La première tentative de traitement consiste à la recherche d'une liaison fonctionnelle entre les débits liquides et le débit solide.

La mise en graphe de toutes les données présentant les couples  $(Q_s, Q_l)$  a orienté le choix du modèle. Pour tous les fichiers traités, le modèle puissance et polynomial reliant le débit solide au débit liquide

Par ce travail des modèles explicatifs de la variation du débit solide par le débit liquide ont été développés pour différents cas de regroupements de données (annuelles, saisonnières, mensuelles et intégrales). Les modèles obtenus aux échelles mensuelle et donne les meilleurs coefficients de corrélation

## II.2 Calcul des débits et quantification

### II.2.1 Calcul du débit solide

Le calcul du débit solide par suspensions à partir des débits liquides moyens journaliers au droit de chaque station où les prélèvements instantanés ont été effectués.

Sur la base des relations reliant les débits solides aux débits liquides, nous déterminons les valeurs des débits solides, en appliquant à chaque valeur du débit liquide son modèle relatif au mois correspondant.

Au total nous avons appliqués toutes les équations de base et nous avons aboutis aux valeurs réelles du débit solide en Kg/s de toute la série d'observation.

### **II.2.2 Quantification du transport solide en suspension :**

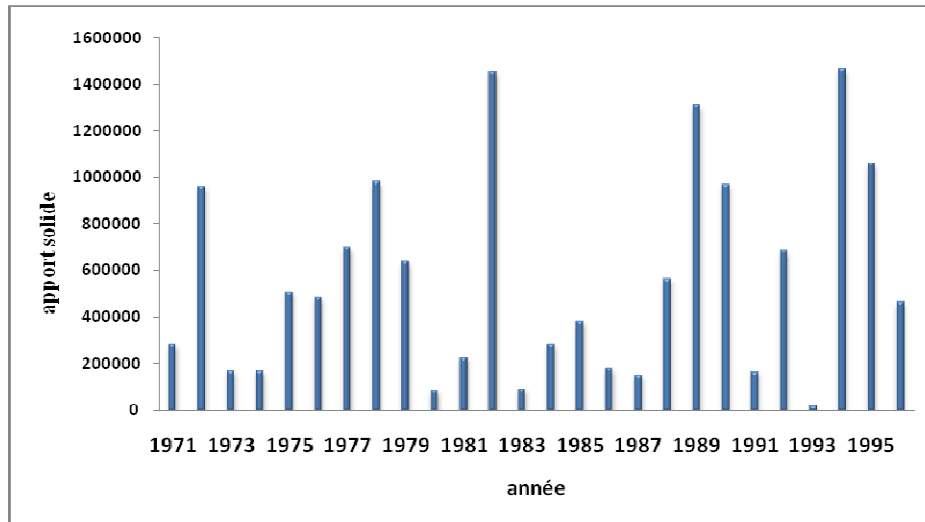
Cette partie a consistée à un calcul direct du transport solide en suspension.

En fonction des débits solides moyens journaliers (en Kg/s). Nous avons déterminé les débits solides moyens journaliers (en (Kg/jour).

Ainsi donc, nous avons calculé pour chaque année, la valeur réelle du transport solide en suspension (en tonnes). Les résultats sont illustrés dans les tableaux (IV.4 )

Tableau(IV-4) : Répartition mensuelle et annuelle du transport solide en suspension. (Tonne)

Année	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	juil	Août	Total (tonne)
1971	102567	50341	7608	202	314	0	0	18967	2523	22	81026	19936	283506
1972	432460	380374	28599	2646	0	1235	1708	45982	10343	13924	0	46281	963552
1973	5180	0	0	19001	1742	2517	26317	35958	0	6723	543	74099	172080
1974	65876	41451	2500	0	0	0	7778	20684	0	18421	14420	0	171130
1975	165124	2125	9486	0	269	4320,4	3318	33712	5440	285499	0	0	509293,4
1976	232288	0	34499	4108	356	1050	4413	20056	24892	0	164312	0	485974
1977	0	0	32144	0	8184	0	0	21406	498604	128136	0	11849,6	700323,6
1978	123533	237362	0	0	0	0	0	16915	156660	448196	0	0	982666
1979	568467	19424	0	0	0	0	0	48367	1098	1929	0	0	639285
1980	33407	7818	21218	3786	0	5530	10682	1271	2391	0	0	0	86103
1981	88169	82519	0	0	2439	1792	1439	6356	0	44310	0	0	227024
1982	153194	139815	884192	448	0	0	0	10212	3822	261850	0	0	1453533
1983	0	5401	0	0	0	0	0	19536	0	68160	0	0	93097
1984	0	147658	0	5866	0	30786	0	19925	0	0	82194	0	286429
1985	28823	23915	1179	0	1168	0	1425	40264	65383	222102	0	0	384259
1986	158752	12177	0	0	0	770	11046	0	0	0	0	0	182745
1987	129200	2293	384	0	0	0	0	10587	0	0	11894	0	154358
1988	279910	271858	162	1294	0	0	0	0	3914	8680	1988	0	567806
1989	322092	0	0	0	0	706	14	31590	388634	552936	5718	8977	1310667
1990	3052	0	2509	0	149758	1534	319	40432	244020	363143	117054	48983	970804
1991	7750	0	384	0	0	476	97933	4203	19692	37369	1075	0	168882
1992	129340	121548	30531	0	0	0	0	0	158788	246316	0	0	686523
1993	0	6465	76	9660	0	0	0	0	997	2876	0	0	20074
1994	333600	86534	0	184800	0	0	46298	159715	750	1420	71476	580832	1465425
1995	219708	506534	0	0	0	0	32570	19816	0	0	67528	214754	1060910
1996	0	0	0	0	202874	56028	125490	21711	0	0	60110	0	466213
total													14492662



**Figure( IV.5 ):** Variation des apports solides en fonction du temps

### II.2.3 Calcul du transport solide par charriage

Le transport solide par charriage présente une partie très importante dans l'étude du phénomène de transport solide. L'importance du phénomène et le taux élevé des apports solides qu'il présente, nous a amenés à estimer le dédit solide charrie en se basant sur des études expérimentales.

L'absence de mesure du sédiment charrie dans l'oued de Chemorah impose des prélèvements d'échantillons sur le long de l'oued.

L'étude a estimé que le taux de charriage est au voisinage de 30% du taux de débit solide en suspension du barrage de Koudiat Medouar. En basant sur d'autres études élaborées sur d'autre bassin en Nord de l'Algérie.

## II.3 L'érosion spécifique

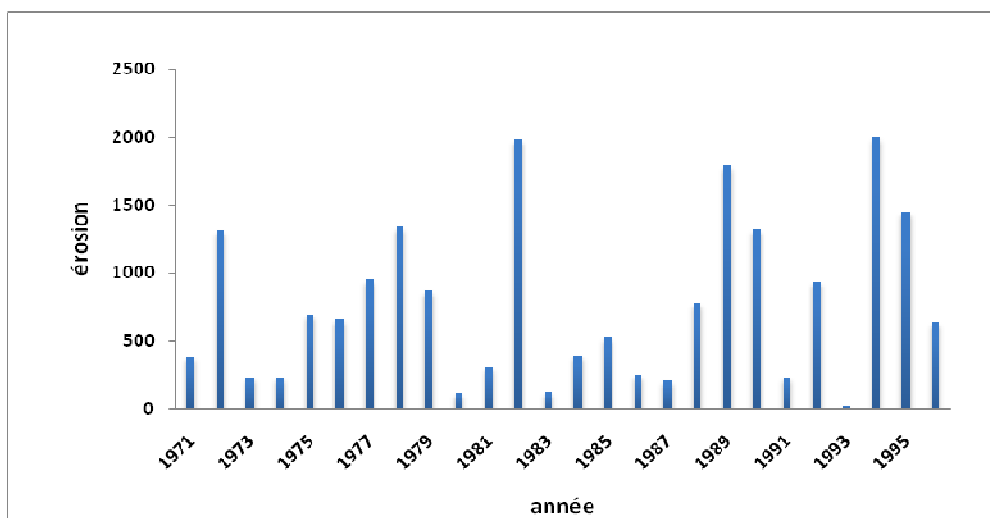
### II.3.1 Calcul du taux d'érosion spécifique

Ce calcul a consisté à la détermination des volumes annuels de sédiments transportés par unité surface. En prenant en considération le transport solide total annuel en suspension  $Q_s$  (en tonnes/an), l'érosion spécifique moyenne sur une période de 25 ans,  $E_s = Q_s/S$ , ou  $S$  est la surface du bassin versant.

En considérant les volumes annuels, de sédiments en suspension transportés par unité de surface, nous avons pu détecter les années qui ont contribué au comblement de la retenue de Chemorah. (Figure IV.6).

Tableau( IV-5): Résultats de l'érosion spécifique

Année	Qs (tonne/an)	Es(t/km2.an)	Année	Qs (tonne/an)	Es(t/km2.an)
1971	283506	387	1984	286429	391
1972	963552	1316	1985	384259	525
1973	172080	235	1986	182745	250
1974	171130	234	1987	154358	211
1975	509293,4	695	1988	567806	775
1976	485974	664	1989	1310667	1790
1977	700323,6	956	1990	970804	1326
1978	982666	1342	1991	168882	231
1979	639285	873	1992	686523	937
1980	86103	118	1993	20074	27
1981	227024	310	1994	1465425	2001
1982	1453533	1985	1995	1060910	1449
1983	93097	127	11996	466213	637



Figure( IV.6 ): Evolution temporelle de l'érosion spécifique.

### III. Discussion des résultats

#### III.1 Résultats du transport solide en suspension et l'érosion spécifique

Avant faire une interprétation de ces résultats. Il faut prendre en considération qu'il y a un manque de données au niveau de station de oued chmorah.

La première remarque qu'on peut enregistrer est que le modèle polynomiale ou parabolique, c'est le plus utilisé ou le mieux adapté répondu pour relié les facteurs entre eux (débit solide, débit liquide ) avec ces variations on remarque que le modèle polynomiale signifié une variation rapide.

On trouve ce type de modèle dans les mois qui caractérise par une saison pluvieuse humide s'étalant du mois septembre en avril.

Les résultats illustrés par le tableau (IV.6) relèvent que les années (1972, 1976,1978, 1989,et 1994) offrent successivement des volumes de sédiments en suspension et l'érosion spécifique les plus importants

Les années ont totalisé des volumes en suspension très importants et qui ont un effet direct sur le bilan interannuel.

#### V-Prévision de l'envasement des retenues

les nombreuses observations sur l'envasement des retenues de part le monde, ont montré que c'est durant les premières années d'exploitation que le processus d'envasement est le plus intensif, ensuite on observe une atténuation qui durer de nombreuses années.

##### V.1-Constat de l'envasement actuel de la retenue de Koudiat Medouar :

Dans le bassin versant de l'oued de Chemorah et au droit de la station de Koudiat Medouar, les valeurs du taux d'érosion spécifique ont été estimées à partir de modèles régressifs permettant de calculer le volume de vase conséquent.

Par une durée de vie du barrage  $T=50$  ans, une érosion spécifique de  $761 \text{ tonnes/Km}^2 \cdot \text{an}$ , une densité sèche des matériaux  $\langle \gamma_s \rangle = 2.7 \text{ tonnes/m}^3$  et une superficie du bassin versant  $S$  de  $731.32 \text{ Km}^2$  au droit du barrage, le volume de sédiments aboutissant dans la cuvette égale à :

$$V_s = \frac{E_s \cdot T \cdot S}{\gamma_s} \cdot 1.32$$

Serait :

$$V_s = 13604177 \text{ m}^3.$$

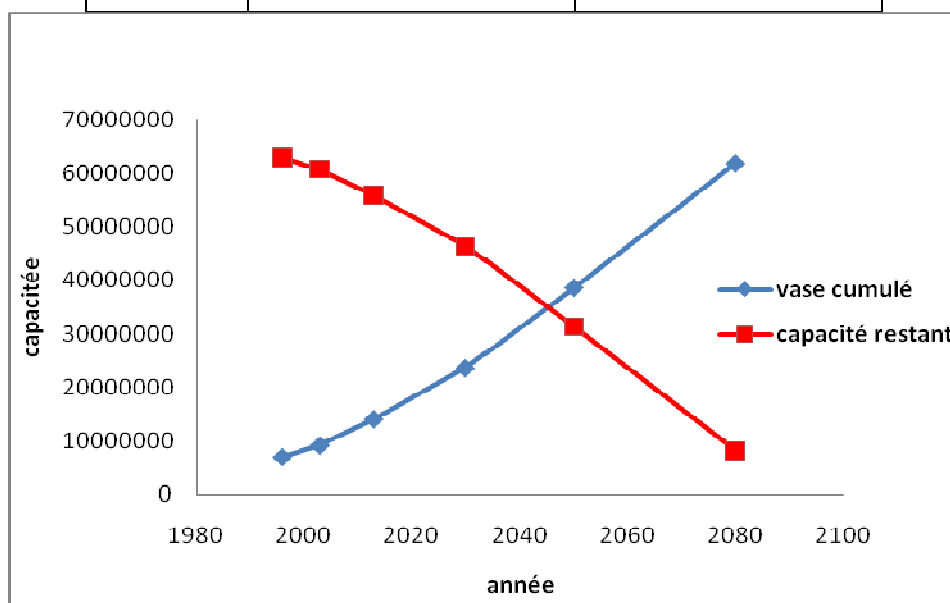
Les résultats trouvés par le calcul de l'envasement dans la retenue s'avèrent bien confirmés grâce aux données réelles des levés bathymétriques effectués.

Tableau( IV-6): capacité de la vase de la retenue

<i>Année</i>	<i>Es(t/km2.an)</i>	<i>Vase(tonne)</i>	<i>Année</i>	<i>Es(t/km2.an)</i>	<i>Vase(tonne)</i>
1971	387	138603	1984	391	140032
1972	1316	471070	1985	525	187860
1973	235	84128	1986	250	89342
1974	234	83664	1987	211	75464
1975	695	248988	1988	775	277594
1976	664	237587	1989	1790	640771
1977	956	342380	1990	1326	474615
1978	1342	480414	1991	231	82565
1979	873	312539	1992	937	335633
1980	118	42095	1993	27	9814
1981	310	110990	1994	2001	716430
1982	1985	710616	1995	1449	518667
1983	127	45514	1996	637	227926

**Tableau (IV-7)** capacité de la vase et capacité restant à chaque horizon

année	capacité de la vase(tonne)	capacité restant(m <sup>3</sup> )
1996	7085301	62914699
2003	9264916	60735084
2013	14169050	55830950
2030	23704865	46295135
2050	38689718	31310282
2080	61848126	8151874

**Figure (IV-7)** : Valeurs calculé de la capacité de la vase cumulées et capacité restant en fonction du temps

## V-2-calcul du paramètre a :

le tableau résume l'ensemble des données essentielles pour le calcul du paramètre « a » de la retenue

**Tableau( IV-8) :** Paramètres de la décroissance de la capacité des retenues

Barrage	Capacité de la retenue normale CRN(m3)	Apport solide déposé Q's(tn)	Paramètre de décroissance « a »
Koudiat Medouar	$70 \cdot 10^6$	7085301	0.90

le tableau résume l'ensemble des données essentielles pour le calcul du paramètre « a » de la retenue à chaque horizon

**Tableau( IV-9) :** Paramètres de la décroissance de la capacité des retenues à chaque horizon

Capacité de la retenue normale CRN(tn)	année	Apport solide déposé Q's(tn)	Paramètre de décroissance « a »
$70 \cdot 10^6 (\text{Hm}^3)$	1996	7085301	0,90
	2003	9264916	0,87
	2013	14169050	0,80
	2030	23704865	0,66
	2050	38689718	0,45
	2080	61848126	0,12

### 4-1 Evaluation de l'envasement dans les barrages en utilisant l'abaque de BRUNE

Le calcul sont suffisantes pour faire intervenir le taux de rétention, car les sédiments ne restent jamais en totalité dans la retenue durant la durée de vie du barrage. Pour cela, nous utilisons l'abaque de Brune qui définit le pourcentage des sédiments restant dans le réservoir en fonction de la capacité normale et l'apport moyen annuel.

**Tableau(IV-10):** Evaluation de l'envasement dans les barrages en utilisant l'abaque de BRUNE

BARRAGE	NNR	Mise en eau	Capacité Initiale (C)	Apport moyen annuel (A)	C/A	Taux de rétention	Apport solide annuel	Envasement annuel
	(m)		m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>		%	Mm <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Koudiat Medouar	992.50	2003	70000000	23630293	2.96	0.5	557410	278705

**Etat de la retenue de Koudiat Medouar :**

La situation du barrage de **Koudiat Medouar** dans le bassin versant de l'oued Chemorah, le plan d'implantation, la fréquence et l'intensité des crues font que les apports moyens annuels d'eau et de vase sont relativement importants.

Le barrage de Koudiat Medouar est un barrage nouveau. Le barrage vu sa faible envasement, le taux d'envasement de cette barrage 1.30 m.

L'évolution de l'état de l'envasement de la retenue devra être suivi par des relevés des zones envasées, effectués à la retenue ou vide.

Dans ce but, le contrôle d'un certain nombre de profils en long et en travers devra être réalisé périodiquement.

Pour connaître la vitesse de progression de l'envasement vers le barrage, des repères devront être placés sur les berges dans le plan du front de vase.

Si, au moment de prendre des décisions sur les transferts on ne dispose pas de temps suffisant pour réaliser un levé des sédiments présents dans la retenue, alors la capacité de stockage occupée par les sédiments devra être évalué par des apports et des débits sortant de la retenue et du diagramme des volumes emmagasinés avant sédimentation.

La retenue étant toujours vide à la fin de la saison sèche, on ne peut faire report de réserve d'une année à l'autre.

Donc, à la fin de l'été et notamment au mois d'Aout, la retenue doit être complètement vidée et les pertuis de vidange de fond (vannes à segment) doivent être laissé ouverts.

D'après l'hypothèse des études de sédimentation :

«Tous les sédiment se déposeraient dans la retenue lorsque l'eau serait emmagasinée et qu'il n'y aurait aucun dépôt de sédiments lorsque les vannes seraient entièrement ouvertes».

De cette façon, les sédiments de la première crue ne se déposent pas dans la retenue. Les vannes seront alors renfermées et l'on procède au remplissage du réservoir si, quelques temps avant la date prévue pour le transfert d'eau pour la retenue de Koudiat Medouar, aucune crue ne s'est produite, les vannes seront

renfermées et la chasse des sédiments qui n'ont pu être alors éliminés sera effectuée à l'occasion d'une vidange ultérieure.

**Conclusion :**

Le problème de la sédimentation des barrages est connu dans le monde de par importance. Devant cet état de fait la mesure de l'envasement des barrages présente un intérêt certain pour la quantification des sédiments et l'exploitation des ouvrages.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale :

L'importance du transport solide en Algérie s'est toujours traduit par un comblement rapide des retenues de barrage diminuant considérablement leur capacité de stockage et par conséquent leur durée de vie.

Le transport solide est un phénomène complexe, très répandu en zone méditerranéenne, il existe deux formes de transport sédimentaire: transport solide par suspension et transport solide par charriage. Les conditions physiques, géomorphologiques et hydroclimatiques sont particulièrement favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène (prédominance de formations marneuses peu résistantes, irrégularité climatique, torrencialité des écoulements, faible densité du couvert végétal).

Notre étude a fait pour l'objet d'une estimation quantitative de l'envasement au droit du barrage de Koudiat Medouar destiné au transfert des eaux de l'oued Chemorah vers le barrage.

Les informations et les moyens mis à notre disposition sont :

- Un fichier de données hydrométriques instantanées relatives aux débits et à la concentration en éléments en suspension au droit de la station de Chemorah située à l'amont du barrage de Koudiat Medouar, sur une période allant de 1971 jusqu'à 1996.
- Un fichier de données hydrométriques journalières relatives aux débits liquides au droit de la même station et sur une période allant de l'année 1971 jusqu'à 1996.

Le traitement de cette masse de données a été effectué en plusieurs étapes.

Le transport solide en suspension est déterminé au moyen de la concentration en matière en suspension d'après l'équation  $Q_s = C Q_l$ .

L'absence de corrélation (débit liquide-concentration), nous a amenés à rechercher par un modèle régressif la liaison fonctionnelle la plus étroite existant entre le débit solide et le débit liquide.

Plusieurs mises en forme des données ont été considérées, en les regroupant. D'abord dans leur totalité, ensuite à différentes échelles temporelles : annuelle, mensuelle et saisonnière.

Nous avons obtenu, par conséquent :

• une relation très significative, mettant en rapport le débit solide en suspension et le débit liquide de la forme :

$$Q_s = aQ_l^2 + bQ_l + c$$

Le choix de la fonction de puissance polynomiale est justifié par l'adéquation de ce modèle qui a donné les meilleures valeurs du coefficient de détermination, en particulier, pour la série de données mensuelles.

Sur la base du modèle polynomiale nous avons calculé le débit solide en suspension journalier à partir des relations retenues après avoir comblé toutes les lacunes. Le calcul du débit solide et sa transformation en tonnage annuel de matériaux en suspension ont été effectués pour toute la série du fichier de base.

- Le taux du débit solide charrié était calculé sur la base, qui l'estime à 30% du transport solide en suspension.
  - Le calcul de l'érosion spécifique annuelle sur toute la période d'étude a fait sortir les années qui ont contribué énergiquement au comblement de la retenue de Koudiat Medouar à la station de Chemorah.
  - L'assemblage des résultats issus des modèles régressifs établis entre  $Q_s$  et  $Q_l$  a permis d'estimer les volumes de sédiments transportés par suspension qui présente quantitativement la partie majeure du transport solide.

Les résultats finaux de quantification du transport solide semblent très proches aux mesures directes de l'envasement dans la retenue de Koudiat Medouar.

La quantification du transport solide en suspension par modélisation statistique, nous la qualifierons de plus fiable que l'utilisation de modèles empirique, qui sont obtenus grâce aux données des autres bassins qui n'ont pas forcément les mêmes caractéristiques que le bassin à étudier.

Pour une meilleure gestion et une bonne prédiction des pertes en capacité, cette modeste contribution est faite dans le but de constituer une base de données fiables susceptible de servir à l'étude de protection du barrage de Koudiat Medouar contre le phénomène de l'envasement et permettra aux gestionnaires d'ouvrage de gagner un temps précieux dans l'estimation du transport solide.

L'étude des processus de l'érosion, du transport solide et de la sédimentation est un préalable à toute tentative de dévasement. Que se soit à l'aide de dragage ou de soutirage (par les ouvrages de vidange), la récupération des volumes de stockage et la remise du barrage à ses fonctions initiales nécessitent la connaissance des phénomènes de sédimentation ayant abouti au comblement de la retenue. En effet, les volumes d'eau exploitables sont comblés dans des délais très courts d'une part, et d'autre part en évacuant les matières solides en grandes quantités, provoquent ainsi un impact négatif sur l'environnement.

# Sommaire

<b>1. CHAPITRE I : étude bibliographique</b>	
I-Ampleur de l’envasement des retenues de barrages.....	4
II- Facteurs induisant l’envasement des barrages.....	5
Processus naturels.....	5
I-Erosion des sols.....	5
II- Transports solides.....	5
III- Sédimentation et envasement.....	6
Processus de l'érosion dans les bassins versants .....	8
I-1- Généralités :.....	8
I.2- Causes de l'érosion :.....	9
I.3- Quantification de l'érosion :.....	9
I.3.1- Formule de L' A.N.R.H.....	9
II- Le transport solide :.....	12
- Description des mécanismes de transport solide .....	13
II-1- Transport par charriage.....	14
II.1.1- Description du phénomène :.....	14
II.1.1.1- Formule de Schoklitsch.....	15
II.1.1.2- Formule de MEYER-PETER et MÜLLER.....	16
III.1.1.3- Formule d'Einstein-Brown (1950).....	17
II.2- Transport par suspension .....	18
II.2.1- Description du phénomène.....	19
II.2.1.2- Méthode statistique.....	21
II-3- Caractérisation de la phase solide .....	21
II.3.1- classification des sédiments .....	22
II-3-2- Granulométrie .....	23
II-4- Début d'entraînement des sédiments :.....	24
V-4-1- Début d'entraînement des sédiments en suspension.....	24
4-2- Début d'entraînement des sédiments sur le fond.....	25
III-L'alluvionnement dans les réservoirs et les moyens de lutte contre ce phénomène.....	27
III-1-Les facteurs conditionnels de l'engrèvement des réservoirs.....	27

III-2-Mécanisme de formation des dépôts dans le réservoir.....	27
III-2-1-Dépôts formés par les matériaux charriés.....	28
III-2-2- Dépôts formés par les matériaux transportent en suspension.....	28
III-3-Méthodes de calcul :.....	29
III-3-1-Sédimentation dans la retenueII.....	29
I-3-2- Vitesse de chute d'une particule élémentaire.....	33
III-3-3- Influence de la concentration des particules :.....	35
III-2-4-Bilan des échanges érosion –sédimentation .....	35
III-2-5-Tassement des vases.....	37
III-2-5-1- Sédiments grossiers ( sable , graviers, cailloux).....	37
III-2-5-2- Sédiments fins (limons-vases-argiles) :.....	37
II-2-6: Calcul du volume de la vase.....	38
I-2-6-1-La formule de F.Orth.....	38
II-6-2-2- Formule de Taylor:.....	40

## CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude :

Présentation de la zone d'étude .....	42
I.1.Situation géographique.....	42
I.1.1. Situation administrative.....	42
I.2. Les grands ensembles physiques .....	42
I-II. Situation géographique de barrage :.....	43
I.II.I. Condition géomorphologique :.....	44
II. Etude topographique .....	44
II.I. Topographie de bassin versant :.....	45
II.II. Topographie de la vallée du barrage.....	45
II.III.Topographie du site du barrage :.....	45
III. Etude géologique : .....	45
III.1. Description litho stratigraphique du piémont Nord-est des Aurès :.....	46
III.1.1 Le Trias:.....	46
III.1.2 Le Jurassique :.....	46
III.1.3 Le Crétacé .....	46

---

III.1.3.1. Le Crétacé inférieur.....	47
III.1.3.2. Le Crétacé supérieur :.....	47
III.1.4. Le Miocene : .....	47
III.1.5. Le Quaternaire :.....	48
III.1.5.1. Eboulis à blocs :.....	49
III.2. Le Cadre structural et tectonique .....	49
IV .Etude pédologique : .....	50
IV.1 Les différentes classes des sols:.....	50
IV.2 Les différentes classes d'aptitude des sols à l'irrigation et au drainage : .....	50
V.Etude de couvert végétal.....	51
V.1. La forêt des Béni Imlloul (Mont Chélia) .....	52
V.2. La forêt des Ouled Yagoub .....	52
V.3. La forêt des Béni Oudjana .....	52
V.4. La forêt de Sgag.....	52
V.5. Les prairies.....	52
VI. Etude morpho métrique .....	53
VI.1. Paramètres géométriques :.....	55
VI.1.1. L'indice de compacité (kc) :.....	55
VI.1 Le rectangle équivalent:.....	55
VI.1.3. La courbe hypsométrique:.....	56
VI.1.4. L'indice de pente :.....	59
VI.1.5. L'indice de pente global (Ig).....	59
VI.1.6. Indice de pente moyenne (I m).....	60
VI.1.7 Dénivelée spécifique (Ds).....	60
VI.2. Les paramètre morpho métriques :.....	61
VI.2.1. Le réseau hydrographique :.....	62
Classification des cours d'eau :.....	62
VI.2.3. Calcul des paramètres :.....	63
VI.2.3.1. La densité de drainage:.....	63
VI.2.3.2. La densité de thalwegs élémentaires, ou fréquence des oueds élémentaire :.....	63
VI.2.3.3 Coefficient de torrencialité :.....	64
V.2.4. Le temps de concentration (TC):.....	64
VII. Etude lithologique.....	65

VII.1. Caractéristiques lithologiques.....	65
Bassin versant d’oued Chemorah :.....	65
VII.2. La perméabilité : .....	65
VIII. Le barrage de Koudiat Medouar :.....	66
V111.1 Localisation :.....	66
V111.2 Objectif :.....	66
V111.3 Caractéristiques techniques :.....	67
VIII.4 Description.....	67
V111.5 Détails : .....	67
V111.6 Evacuateur de crue :.....	67
V111.7 Galerie de dérivation :.....	67
V111.8 Infrastructures: .....	68
V111.9 Galerie de dérivation :.....	68
CONCLUSION.....	70
<b>CHAPITRE III : Etude climatologique</b>	
Etude hydro climatologique : .....	73
1- température de l’air : .....	73
2- L’Humidité relative :.....	74
3- Les vents.....	74
4- Sirroco :.....	76
5- Evaporation :.....	76
II-Etude de précipitation : .....	77
II-1-Analyse en comportement (ACP) des précipitation annuelles.....	80
Analyse des résultats de l’ACP :.....	80
Ajustement de la précipitation annuelle à une loi de probabilité :.....	84
III.4- Détermination de la lame d’eau écoulée(R) : .....	85
a)le débit moyen annuel et l’apport moyen annuel .....	85
b)calcul du débit moyen interannuel et l’apport moyen interannuel :.....	85
c)la lame d’eau écoulé moyenne interannuelle .....	86
d)débit spécifique M0 :.....	86

e) coefficient de débit pour chaque année $K_i$ : .....	86
III-Etude des crues.....	88
III-1-Etude des pluies journalières maximales.....	88
III-2-Pluie de courte durée.....	89
III-3-Calcul du débit maximal.....	89
III-3-1-Détermination des débits moyens journaliers maximums fréquents.....	89
a. Formule de GIONDOTTI.....	89
b. Formule de TURAZZA .....	90
c. Formule de SOKOLOVSKY .....	90
III-4-Hydrogramme de crue.....	91
Conclusion.....	93
 <b>CHAPITRE IV : méthodes et matérielles</b>	
Introduction :.....	95
I- Collecte et mise en forme des données :.....	95
II- Dépouillement des données :.....	95
III- Présentation et mise en forme :.....	96
III.1- Classification des données .....	96
III.2- Répartition mensuelle des débits solides et débits liquides :.....	97
III.3- Répartition annuelle des débits solides- débits liquides : .....	101
III.4- Répartition saisonnière des débits liquides- débits solides :.....	106
IV- Traitement et interprétation des résultats :.....	108
IV.1- Généralité :.....	108
I.1- Méthode de régression linéaire :.....	109
I.1.1- Avantage d'un modèle :.....	109
I.1.2- Estimation des paramètres du modèle :.....	109
I.1.3- Méthode des moindres carrés :.....	109
I.1.4- Coefficient de corrélation : .....	110
I.2- Présentation des modèles régressifs :.....	110
I.2.1- Modèle linéaire « type droite » : .....	110
I.2.3- Modèle de l'exponentiel :.....	111

I.2.4- Modèle puissance :.....	111
I.2.5- Modèle polynomial :.....	112
II- Traitement des données :.....	112
II.2 Calcul des débits et quantification.....	112
II.2.1 Calcul du débit solide .....	112
II.2.2 Quantification du transport solide en suspension :.....	113
II.2.3 Calcul du transport solide par charriage.....	115
II.3 L'érosion spécifique .....	115
II.3.1 Calcul du taux d'érosion spécifique .....	115
III. Discussion des résultats .....	117
III.1 Résultats du transport solide en suspension .....	117
V-Prévision de l'envasement des retenues.....	117
V.2- Constat de l'envasement actuel de la retenue de Koudiat Medouar :.....	117
V-3-calcul du paramètre a :.....	120
4-1 Evaluation de l'envasement dans les barrages en utilisant l'abaque de BRUNE.....	120
Etat de la retenue de Koudiat Medouar : .....	121
Conclusion :.....	122

## Liste des figure

### CHAPITRE I : étude bibliographique

Figure (I.1): Modes de transport solide.....	6
Figure (I.2): Mode d'envasement.....	6
Figure( I.3): type d'érosion hydrique.....	8
Figure. I.4 : Répartition des verticales.....	10
Figure. I.5:Epure des vitesses.....	11
Figure.1.6 : Epure du débit solide sur toute la section de mesure.....	11
Figure( I-7) : Mode de transport solide en hydraulique.....	13
Figure( I-8 ); Mode de transport des sédiments selon leur taille.....	13
Figure (I-10) :Intégral de $j_1$ et de $j_2$ utilisée dans la méthode d'EINSTEIN.....	21
Figure(I-11 ) : diagramme de Yalin-Sheilds ( $d^*$ en m).....	26
Figure (I-12) : Mode d'envasement par le courant de turbidité.....	30

### CHAPITRE II : Présentation de la zone d'étude :

Figure( II-1): Délimitation du bassin versant.....	53
Figure (II-2): Couple transversale d'un bassin versant.....	54
Figure (II-3): Rectangle équivalent du bassin versant de Koudiat Medouar. (MEHEMAI Fairouz-2009).....	57
Figure(II-4) :courbe hypsométrique.....	58
Figure (II-5) : évacuateur de crue (déversoir).....	68
Figure (II-6): les forages piézométriques.....	70

### CHAPITRE III : Etude climatologique

Figure (III-1) :Températures mensuelles moyennes en °C.....	73
Figure (III-2) : Humidités relative mensuelles moyennes.....	74
Figure (III-3) :Les moyennes mensuelles des vitesses du vent.....	75
Figure (III-4) :Les moyennes mensuelles des vitesses du vent.....	77
Figure (III-5) : Variation des précipitation mensuelles ( station pluviométriques du bassin versant de oued chmorah).....	79

Figure (III-6) : Variation des précipitation annuelles station pluviométriques du bassin versant de oued chmorah80.....	80
Figure (III-7) : Ajustement de la précipitation annuelle .....	85
Figure (III-8) : Variation des apports annuels du bassin versant d'oued chmorah.....	88
Figure (III-9) : Hydrogramme de crues exceptionnelles.....	93
<b>CHAPITRE IV : méthodes et matérielles</b>	
Figure IV.1: Répartition débit solide – débit liquide : totalité des données de 2003-2012 à la station de oued chmorah.....	97
Figure IV.1: : Répartition mensuelle des débits solides –débits liquides.....	99
Figure(IV-2) : Répartition annuelle des débits solides –débits liquides.....	105
Figure( IV.4 ): Variation saisonnière des débits solides –débits liquides.....	107
Figure( IV.5 ): Variation des apports solides en fonction du temps.....	115
Figure( IV.6 ): Evolution temporelle de l'érosion spécifique.....	116
Figure (IV-7) : Valeurs calculé de la capacité de la vase et capacité restant en fonction du temps.....	119



# Lise des tableaux

---

## Liste des tableaux

### CHAPITRE (I)

Tableau (I.1) : Etat des lieux de quelques barrages algériens.....	5
Tableau( I-2) : Classification des sédiments d'un lit.....	23
Tableau( I-3) :Classification de Ramette.....	26

### CHAPITRE (II)

Tableau (II-1) : Répartition altimétrique du bassin versant OUED CHOMORAH.....	50
Tableau (II-2): classification de L'ORSTON.....	61
Tableau( II-3) : Tableau récapitulatif de longueur et du nombre des cours d'eau de différents ordres (Bassin versant OUED CHEMORAH):.....	63
Tableau (II-4) : Estimation du temps de concentration du bassin versant oued chemorah.....	64

### CHAPITRE(III)

Tableau (III-1) : Températures mensuelles moyennes.....	73
Tableau( III-2):Humidités relative mensuelles moyennes.....	74
Tableau III-3 : Fréquence moyenne inter-annuelle des vents par leur direction de laStation de BATNA.....	75
Tableau( III-4) : Les moyennes mensuelles des vitesses du vent.....	75
Tableau(III-5): Valeurs moyennes mensuelles du nombre de jours de sirocco.....	76
Tableau (III-6) : Evaporation annuelle moyenne.....	76
Tableau (III-7) : Caractéristique des station pluviométriques du bassin versant de oued chmorah.....	77
Tableau (III-8) : Précipitation annuelles(mm) des station de bassin versant oued chmorah.....	78
Tableau (III-9) : Précipitation mensuelles (mm) des station de bassin versant oued chmorah.....	79
Tableau (III-10) : moyenne Ecart type des variables initiales.....	81
Tableau (III-11) :matrice des coefficient de corrélation entre les variables :.....	81
Tableau (III-12) : valeur propre ,variance expliqué et variance cumulées ;.....	81
Tableau (III-13) : pourcentage d'inertie.....	82
Tableau (III.14) : projection des variables actives.....	82
Tableau (III-15) :Projections des observations.....	83
Ta Tableau (III-16) : précipitation annuelles et leurs fréquences expérimentales : station de foug atoub.....	84
Tableau (III-17) : calcul la lame d'eau écoulée.....	87

## Lise des tableaux

---

Tableau (III-18) :Représentation fréquentielle des pluies journalières maximales.....	88
Tableau (III-19) :Pluies de courte durée pour différentes fréquences.....	89
Tableau (III-20) :Calcul de Qjmax par les différentes formules empiriques.....	90
Tableau (III-21) : Hydrogramme de crue pour Qjmax de différentes fréquences .....	92
CHAPITRE(III) ; méthodes et matérielles	
Tableau (IV -1) : Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle mensuelle pour la station de Chemorah.....	100
Tableau(IV-2): Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle annuelle pour la station de Chemorah.....	106
Tableau (IV-3): Modèles retenues et leur coefficient de corrélation calculés à l'échelle Saisonnière pour la Station de Chemorah.....	108
Tableau(IV-4) : Répartition mensuelle et annuelle du transport solide en suspension. (Tonne).....	114
Tableau( IV-5): Résultats de l'érosion spécifique.....	116
Tableau( IV-6): capacité de la vase de la retenue.....	118
Tableau (IV-7) capacité de la vase et capacité restant à chaque horizon .....	119
Tableau( IV-8) Paramètres de la décroissance de la capacité des retenues... ..	120
Tableau( IV-9) Paramètres de la décroissance de la capacité des retenues à chaque horizon .....	120
Tableau(IV-10): Evaluation de l'envasement dans les barrages en utilisant l'abaque de BRUNE.....	121

Carte N°1 : Situation du piémont Nord-Est des Aurès dans le bassin versant des "HAUTS PLATAUX CONSTANTINOIS. (Carte réseau ANRH-2010).....	43
Carte N °02 Géologie de piémont Nord-est des Aurès.(RLAFITE 1939).....	48
Carte N°03 : Schéma structural simplifié du piémont Nord-est des Aurès. (MEHEMAI Fairouz 2009).....	49
Carte N°04 : Carte du sol du piémont Nord-Est des Aurès.(carte des soles d' Algérie dessiné par.R-Bellan-cartographe –Alger :1924 E :1/500000 ) .....	51
Carte N°05 : Carte hypsométrique du bassin versant Koudiat Medouar (MEHEMAI Fairouz-2009).....	5
9	
Carte N°06 : Les pentes du bassin versant Koudiat Medouar (MEHEMAI Fairouz-2009)....	61
Carte N°07 : Réseaux hydrographique du bassin versant Koudiat Medouar (MEHEMAI Fairouz-2009).....	62
Carte N°08 : La perméabilité du bassin versant Koudiat Medouar (MEHEMAI Fairouz-2009).....	6
6	

# **Bibliographie**

**BIBLIOGRAPHIE**

- METHODES DE CALCUL DE LA SEDIMENTATION DANS LES LACS ET LES RESERVOIRS. contribution au programme .hydrologique internationale.phi - ii Projecta.2.6.1 panel stevan bruk, rapporteur1986
- APPROCHE CARTOGRAPHIQUE DE L'EROSION HYDRIQUE A PARTIR DES OUVRAGES HYDRAULIQUES EXISTANTS CAS BASSIN ISSER (ALGERIE) par Ho uari ZEGGANE 2004 Ecole Nationale Supérieure de l'hydraulique Arbaoui abdellah
- COLLOQUE SUR L'EROSION DES SOLS ET L'ENVASEMENT DES BARRAGES . parrainé par le ministère de l'équipement. ministère de l'agriculture. l'ambassade d'Allemagne alger I.S.G.P 1 -3 -12 -1991
- METHODES DE CALCUL DE LA SEDIMENTATION DANS LES LACS ET LES RESERVOIRS.
- METHODES DE CALCUL DE LA SEDIMENTATION DANS LES LACS ET LES RESERVOIRS. Contribution au Programme Hydrologique Internationale PHI – II ProjectA.2.6.1 PanelStevan Bruk, Rapporteu. Janvier 1986
- contribution au programme .hydrologique internationale.phi - ii Projecta.2.6.1 panel stevan bruk, rapporteur1986
- MEHEMAI.F (2009).Mémoire d'essai de modélisation de l'écoulement et risques d'inondation dans le piémont Nord –Est des Aures approche Geosystemique
- MIGNIOT C. (1968). Etude des propriétés physiques des différents sédiments très fins et leur comportement sous des actions hydrodynamiques. Revue la Houille Blanche.
- MAROT F. Caractérisation et traitement de sédiments de dragage contenant des polluants métalliques. Thèse de l'Université du Havre, 1997, 330 p.-Ramini.B / larhyss journal,5 (2006) 75-89
- REMINI B. (1997). Envasement des retenues de barrages en Algérie: importance, mécanismes et moyen de lutte par la technique du soutirage. Doctorat d'état, Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, 348 pages.
- REMINI B. (1997). Envasement des Retenues de barrages en Algérie, Internationale La Houille Blanche, n°1. 1996, 335 p.
- SHNEIDER G. Le curage des sédiments des cours d'eau. Le courrier de l'environnement de l'INRA, 2001, vol. 43, pp. 146-147.
- Saidi.A(1991).Erosion spécifique et prévision de l'envasement. Communication du colloque sur l'érosion en Algérie (ANRH+GTZ°) Algérie.
- Touibia .B(1986).Quantification de la salinité et du transport solide cas de Bassin Versant de l'Oued Derdeur.

- Touibia .B ; Ddaoui, A, GOMER.D et Achit.M (2001) Variabilité temporelle de l'écoulement solide dans le bassin versant de l'Oued Mina-Angleterre..Journal des Sciences Hydrologique .AISA N°46,1.
- HYDRAULIQUE FLUVIALE ET AMENAGEMENT DES COURS D'EAU –  
TRANSPORT **DE MATIERE**. K. Blanckaert  
EVOLUTION DE LA SEDIMENTATION DANS LES RETENUES DE BARRAGE ET LES OUTIRAGE  
DES PARTICULES FINES . REMINI BOUALEM Maître de  
conférences, Université de BLIDA -Algérie Courrier du Savoir – N°02, Juin 2002, pp. 29-34
- THESE L'EROSION DES BASSINS VERSANT ALPINS SUISSES PAR L'EROSION DE SURFACE.  
Beyer Portner (1998)
- RECHERCHES SUR L'ENVASEMENT DES RETENUES EN YUGOSLAVIE BRANISLAV  
DJORJEVIC,ING CIV institut des eaux « jaroslav cerni », yougoslavia.
- CORRELATION ENTRE LA CONCENTRATION EN MATIERES EN SUSPENSION ET LE DEBIT  
LIQUIDE DANS LE BASSIN VERSANT DE OUED  
BELLAH (ALGERIE) Omar Elahcene Boualem Remini European Journal of Scientific Research ISSN  
1450-216X Vol.26 No.1 (2009), pp.139-146
- Mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie Estimation des transports solides A.  
Ghorbel et J. Claude

## ملخص

التو حل هو نتيجة لعملية التآكل و نقل التربة في الحوض التجميعي للسد و بالتالي فان معرفة خصائص هذا الأخير أصبح ضروريا قبل الشروع دراسة السد نفسه.

فحساب كمية تو حل السدود و تحامل الأودية لا يزال يشكل موضوعا للدراسة و البحث فعدة أبحاث و دراسات قدمت لحد الآن لحل هذه المسألة عن طريق النماذج العامة و عددها ثلاثة و هي:

- طريقة تقريبية, تأخذ بعين الاعتبار الخصائص الطبوغرافية و المناخية و الزراعية للحوض و غيرها كالمساحة, طول مجرى الوادي, الزمن المركز, الارتفاعات, متوسط الأمطار إلى غير ذلك.

- طريقة تطبيقية لمعادلات النقل الصلب و التي تتطلب معطيات دقيقة.

- طريقة نمونجية رياضية أو فيزيائية.

هذه الدراسة تحاول أن تقدم حلا لهذه المشكلة عن طريق تحليل احصائي للمعطيات و البحث عن علاقة رياضية تمثيلية لتقدير كمية الترسب في حوض وادي شمرة

## Abstract

The siltation is the result of two processes, erosion and sediment transport that occur of restraint and watershed level, therefore the knowledge of the characteristics of the latter become necessary before the study of the réservoir it self.

The estimation of strength carriers in the right of dams, before handmade the object of numerous scientific researches. The resulted methods are generally with three categories:

- Empirical which integrate different characteristics of the basin.
- Application methods dealt with the equation of sediment discharge.
- Mathematical or physical modelization.

This study present a solution to this problem by static analysis of donations; to set aright the phenomena of sediment discharge in to the basin of “Chemorah”, to estimate the barriers with susceptible sediment to be deposit in the right of Koudiat Medouar dam in Banta department.

## Résumé

Le phénomène d'envasement est le résultat de deux processus, érosion et transports solides qui se manifestent a l'amont de la retenue et au niveau du bassin versant, pour cette raison la connaissance des caractéristiques de ce dernier deviennent nécessaire avant de procéder à l'étude de la retenue elle même.

L'estimation l'envasement au droit des barrages, a déjà fait l'objet de nombreuses recherches scientifiques. Les méthodes qui en résultent sont généralement de trois catégories.

- Méthodes empiriques, intégrant les caractéristiques du bassin versant ;
- Méthodes d'application des équations du transport solide qui exigent des conditions de l'écoulement bien précises ;
- Méthodes de modélisation mathématique ou physique ;

Cette étude présente une résolution de ce problème par l'analyse statistique des données et la recherche d'un modèle mathématique régissant le phénomène du transport solide dans le bassin versant de Oued Chemorah, pour estimer les apports en sédiments susceptibles d'être déposés au droit du barrage de Koudiat Medouar dans la wilaya de Batna.