

CHAPITRE IV: MECANISME ET QUANTIFICATION DE L'EROSION HYDRIQUE**4.1. Introduction :**

Toutes les recherches qui sont faites sur le transport solide mettent en cause la mesure directe des charriages qui est souvent impossible, les masses de captage déposées sur les fonds modifient les courants et les transports, et surtout lors des paroxysmes excessifs des ces dernières elles seraient détériorées, détruites ou ensevelies. En pratique les particules de matériaux solides qui peuvent rester au sein de l'écoulement du liquide et s'écouler avec se dernier sont appelées : Matériaux solides en suspension, il ne s'agit donc que des mesures du transport suspension. Les écoulements de surface transportent avec eux les produits des désagréations des roches des régions hautes vers les zones basses et en définitive vers la mer. Cette section est une introduction brève aux problématiques du transport Solide (Elahcen.O, 2006) dont l'étude est devenue essentielle dans de nombreux domaines, de l'étude des processus d'érosion et de sédimentation aux études sur la pollution des cours d'eau. Pour tenter d'atténuer l'ampleur de ces phénomènes et essayer d'agir d'une façon efficace pour sauvegarder le milieu physique, il est nécessaire de connaître et de maîtriser les processus élémentaires.

Une fois cette connaissance acquise, il est alors possible de générer un modèle, qui quantifie la quantité de sédiments transportée dans les oueds et plus précisément dans notre oued qui est oued El Hammam; Ce qui influence sur La plupart des barrages en Algérie et plus précisément les barrages de la wilaya de Mascara qui sont caractérisés actuellement par :

- érosion hydrique non évaluée ;
- une forte évaporation non estimée.

Par conséquent, l'objectif de ce travail vise à faire une étude de ce phénomène d'érosion hydrique et à savoir : la quantification, la prévision et les solutions à envisager et les moyens contre les ravinements dans le bassin et en plus utilisation d'un modèle mathématique pour détecter l'origine des transports solides (cas de la station de hacine), ainsi que évaluation la perte de la capacité de volume d'eau au niveau du barrage de Bouhanifia.

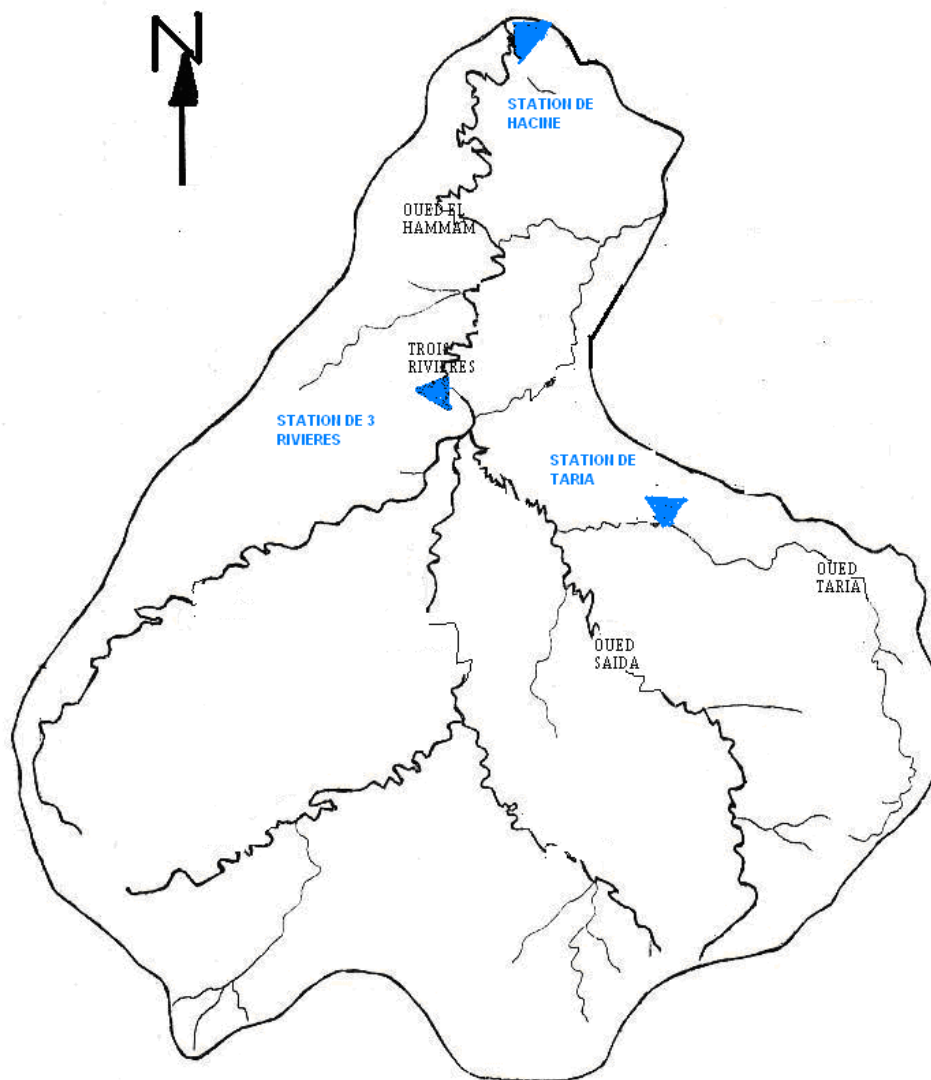


Figure. 61 : Situation des stations hydrométriques du bassin versant d'Oued El Hammam

4.2. Essais de quantification de l'érosion hydrique :

La quantification de l'érosion hydrique est faite par deux manières :

- 1) à partir des formules.
- 2) A partir de la turbidité.

4.2.1 méthode de calcul :

Dans ce cas on utilise les formules qui sont applicables en Algérie, car celles de TIXERONT ; SOGREAH et WISHMEIER, n'ont pas été testées, pour certains paramètres concernant ces formules et qui font défaut tels que :

- a. Le coefficient de perméabilité pour la formule SOGREAH.
- b. Les coefficients a. k pour celle de TIXERONT.
- c. Les paramètres R. K. L_s. C. P. de l'équation de WISHMEIER.

4.2.1.1 Formule de FOURNIER :

$$Es = 91,8 \frac{P^2}{\bar{P}} - 737,6$$

Es : érosion spécifique [tonne / Km² / an].

P : pluie du mois le plus arrosé [mm].

\bar{P} : Pluie moyenne annuelle [mm].

Tableau. 47 : Estimation de l'érosion spécifique Formule de FOURNIER

	Sous bassin de oued saïda	Sous bassin de oued taria
P (mm)	595.6	497.4
\bar{P}(mm)	319.69	273.54
Es (T/Km²/an)	101123.75	82292.1

2.1.2. Formule d'ANRH :

$$Es = 44,9C_t + 73,2 \frac{P^2}{\bar{P}} - 1442,8$$

Es : érosion spécifique (tonne /Km²/an).

C_t : Coefficient de torrentialité

Tableau. 48 : Estimation de l'érosion spécifique Formule de ANRH

	Sous bassin de oued Saida	Sous bassin de oued Taria
$\frac{p^2}{\bar{p}}$	1109.6	904.46
Ct	22.12	30.02
Es	80773.11	66111.57

4.2.2. Méthode de turbidité :**4.2.2.1. Type de données à utiliser :**

Les données nécessaires pour cette étude sont :

- * Les débits liquides.
- * Les concentrations où la turbidité (poids des boues par unité de volume liquide).

Qui ont été obtenues à partir des fiches d'analyse des eaux de l'ANRH d'Oran.

4.2.2.2. Mode de prélèvement :

Le principe général est simple, on filtre les eaux prélevées et on récupère les matériaux en suspension sur des filtres de papier préalablement pesés on sèche le papier à l'étuve portée à 100°C.

Par double pesée, on obtient le poids de la charge solide qu'on ramène à une unité de volume (g/l où Kg/m³) .

$$C = P \times 1000 / V$$

Avec :

C : concentration en [g/l].

P : poids des matériaux extrait de l'échantillon en [g].

V : volume de l'échantillon (eau + boue) en [cm³].

1000 : coefficient de transformation qui permet l'obtention des résultats en [g/l].

Calcul des débits solides moyen annuels :

Nous avons :

$$Q_s = Q_l \times C$$

Q_s : Débit solides moyen annuels [Kg/s].

Q_l : Débit liquides moyen annuels [m³/s].

C : concentration ou la turbidité [g/l].

Tableau. 49 : Débits moyens solides et liquides en kg/s (station de trois rivières)

Années	Débits solides moyens (kg/s)	Débits liquides moyens (m ³ /s)
1993	187.465	6.768
1994	4065.639	40.791
1995	148.845	6.426
1996	13.776	2.245
1997	423.910	15.723
1998	56.999	21.257
1999	83.188	6.15
2000	17.578	1.497
2001	3608.703	44.856
2002	88.928	14.192
2003	86.757	7.711

$$Q_s = 798.34 \text{ kg/s} = 798 \times 10^3 \text{ g/s}$$

$$Q_l = 15.24 \text{ m}^3/\text{s} = 15.24 \times 10^3 \text{ l/s}$$

$$C = 52.36 \text{ g/l}$$

4.2.3. Emploi des méthodes d'ajustement sur la station de Trois rivières.

Introduction

L'analyse statistique des données vise à définir les régions hydrométriques à travers certaines valeurs caractéristiques et représentatives.

Les valeurs caractéristiques sont de deux types :

Valeurs centrales ;

Valeurs extrêmes.

Les valeurs centrales caractérisent l'abondance des régions et leurs irrégularités (moyenne, médiane).

Les valeurs extrêmes représentent les valeurs que peuvent prendre les débits liquides et solides pour une certaine probabilité choisie à l'avance. Pour l'analyse statistique des débits annuels, nous ajusterons à la loi de Gauss (lois normale, log normale), la série d'observation de la station hydrométrique est de 1993-2003.

Loi Normale :

Les paramètres caractéristiques de la série sont :

La moyenne $Q = 15.24$

L'écart type $\sigma = 14,19$

Le coefficient de variation $Cv = 0,07$

Le coefficient de variation est inférieur à 0.5, donc l'adéquation à la loi normale est possible.

Tableau. 50 : Fréquence Cumulée

Rang (i)	Q	$F_i = [i / (1+n)]$
1	1.497	0.083
2	2.245	0.167
3	6.15	0.25
4	6.426	0.33
5	6.768	0.416
6	7.711	0.5
7	14.192	0.58
8	15.723	0.667
9	21.257	0.75
10	40.791	0.83
11	44.856	0.916

Test Graphique

On rapporte les données sur un papier fonctionnel permettant de représenter la fonction $Q = f(F_i)$.

Cette distribution est représentée par la droite d'équation :

$$Q = \bar{Q} + \sigma \cdot u$$

Q : moyenne = 15.24
 σ : L'écart type = 14.19

U : variable réduite ; $u = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$

Pour $F_1 \longrightarrow 0.58 \longrightarrow u = -0.12$
 $F_2 \longrightarrow 0.83 \longrightarrow u = 1.8$

Remplaçons u par sa valeur dans l'équation : $Q = 15.24 + 14.19u$;

On obtient respectivement :

Pour $\{ F_1 = 0.58 ; Q_1 = 13.54 \}$ et pour $\{ F_2 = 0.83 ; Q_2 = 40.78 \}$

Tableau. 51 : Test d'adéquation de χ^2 (Loi de Gauss)

Classes K	Limites des classes	Effectifs observés (n_i)	Effectifs théoriques (np_i)	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
1	1.497-6.426	4	3.66	0.032
2	6.768-15.723	4	3.66	0.032
3	21.257-44.856	3	3.66	0.119

c^2 calculé = 0.183 ;

Le nombre de degré de liberté $ddl = k - 1 = 3 - 1 = 2$; k : nombre de classe (taille de l'échantillon + moyen + l'écart type).

Pour un risque $\alpha = 5\%$ $\longrightarrow c^2$ tabulé = 5.991 > c^2 calculé = 0.183 ; donc l'adéquation à la loi normale est acceptable.

Loi log normale

Tableau. 52 : Fréquence cumulée

Rang (i)	Log Q	$F_i = [i / (1+n)]$
1	0.175	0.083
2	0.35	0.167
3	0.79	0.25
4	0.81	0.33
5	0.83	0.416
6	0.89	0.5
7	1.15	0.58
8	1.20	0.667
9	1.33	0.75
10	1.61	0.83
11	1.65	0.916

$$\text{Log } \overline{Q} = 1.18$$

$$\text{Log } d = 1.15$$

Test graphique :

Sur un papier fonctionnel on représente la fonction $\text{Log}Q = f(F_i)$. On obtient une distribution représentée par une droite d'équation :

$$\text{Log}Q = \text{Log}\bar{Q} + \text{Log}\sigma \cdot u$$

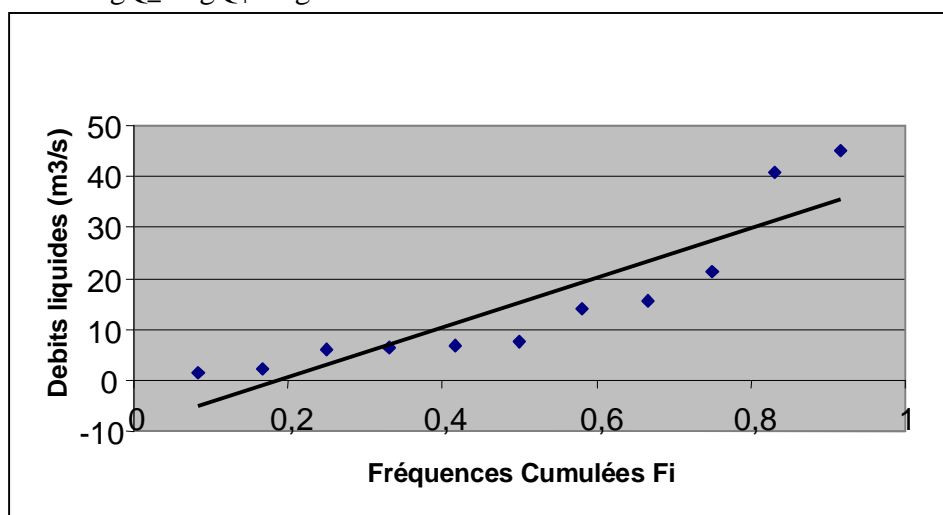


Figure. 62 : Représentation graphique : loi normale (03 rivières)

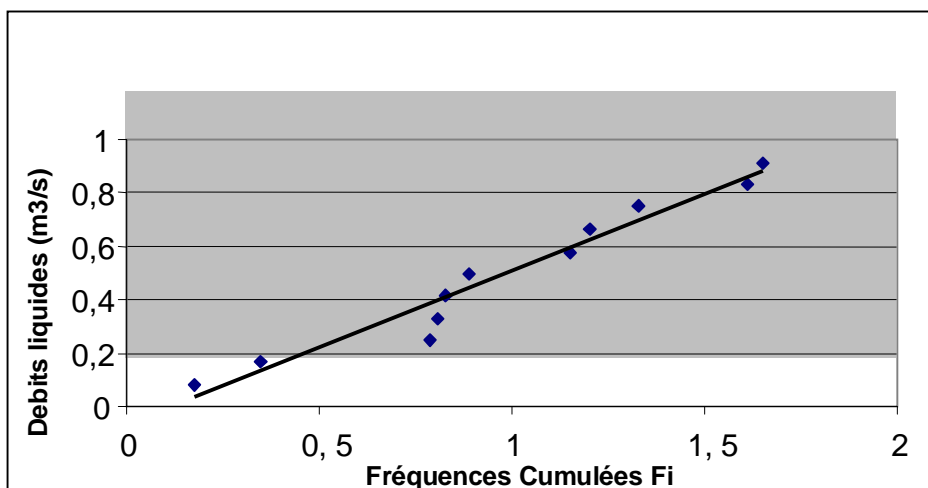


Figure. 63 : Représentation graphique : loi log normale Station des 03 rivières

Log \bar{Q} : moyenne = 1.18 ; **Log σ** : écart type = 1.15 ; **u** : variable réduite
 Pour $F_1 \longrightarrow 0.58 \longrightarrow u = -0.03$

$F_2 \longrightarrow 0.83 \longrightarrow u = 0.37$

Si on remplace u par sa valeur dans l'équation suivante : $\text{Log } Q = 1.18 + 1.15u$;

On obtient respectivement : $\{ F_1 = 0.58 ; \text{Log} Q_1 = 1.15 \}$ et $\{ F_2 = 0.83 ; \text{Log} Q_2 = 1.61 \}$

Tableau. 53 : Test d'adéquation de χ^2 (Loi Log normale)

Classes K	Limites des classes	Effectifs observés (n_i)	Effectifs théoriques (np_i)	$\frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}$
1	0.175-0.81	4	3.66	0.032
2	0.83-1.20	4	3.66	0.032
3	1.33-1.65	3	3.66	0.119

c^2 calculé = 0,183

Le nombre de degré de liberté $ddl = k - 3 = 3 - 1 = 2$; c^2 calculé = 0.183 < c^2 tabulé = 5.991 ; donc l'adéquation par loi Log normale est acceptable.

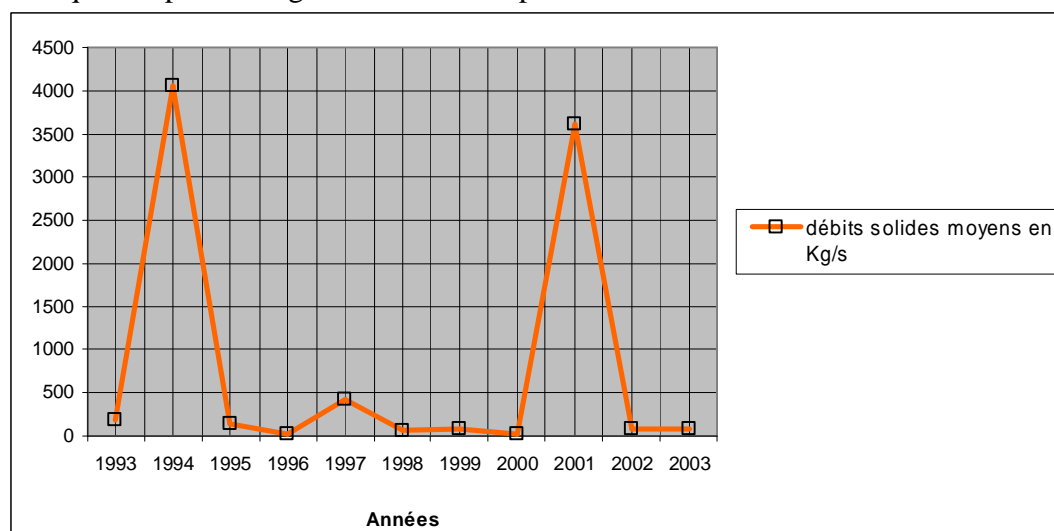


Figure. 64 : Variation des débits solides moyens annuels: Station de 3 rivières

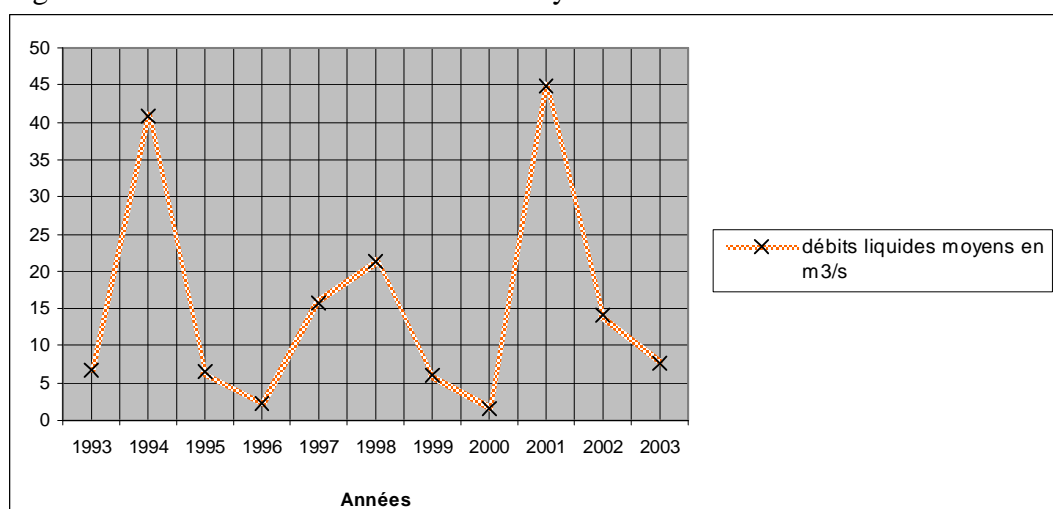


Figure. 65 : Variation des débits liquides annuels: Station de 03 rivières

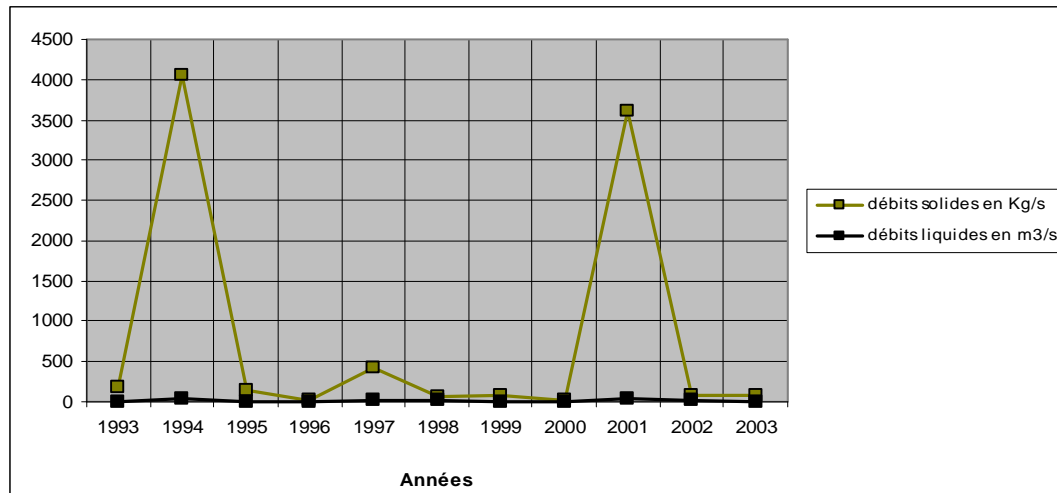


Figure. 66 : Variation des débits solides et débits liquides annuels: Station de 3 rivières

On peut déduire que l'intensité des débits solides au niveau du bassin d'étude montre une augmentation importante par rapport aux débits liquides ce qui favorise l'érosion linéaire du bassin.

4.2.4. Caractéristiques hydrologiques

- Données climatiques

Les données climatiques de la région étudiée sont enregistrées par la station météorologique des oueds Taria et Saïda.

Les précipitations moyennes annuelles sont respectivement : 273 mm et 319.7mm.

4.2.4.1. Apport moyen annuel :

Les études d'ANRH ont permis d'évaluer l'apport annuel par l'expression suivante :

Avec :

$$A_0 = S.M.K$$

$$M_0 = 11,8 P_0^{2,82}$$

Tableau. 54 : Estimation du module

	P en m	M ₀ en l/s/km ²
Bassin versant oued Taria	0.273	0.30
Bassin versant oued Saïda	0.319	0.47

K (constante) = $31,54 \cdot 10^3$.

M_0 : module spécifique moyen annuel en l/s/km²

P_0 : pluviométrie moyenne annuelle

S : surface du bassin versant

Donc :

Tableau. 55 : Estimation de l'apport moyen annuel

	S en km²	P en m	A₀ en m³/an
Bassin versant oued Taria	270	0.273	2554740
Bassin versant oued Saïda	146	0.319	2164274.8

4.2.4.2. lame d'eau ruisselée :

C'est la hauteur moyenne annuelle de précipitation uniformément répartie sur le bassin versant, elle est exprimée par la formule suivante :

$$Y = \frac{A_0}{S \cdot 10^3}$$

A_0 : apport moyen annuel

S : Surface du bassin versant

D'où :

Tableau. 56 : Estimation de la lame d'eau ruisselée

	S en km²	A₀ en m³/an	Y en mm
Bassin versant oued Taria	270	2554740	9.462
Bassin versant oued Saïda	146	2164274.8	14.824

4.2.4.3. Coefficient d'écoulement

C'est le rapport de la valeur de la lame d'eau ruisselée par la hauteur moyenne annuelle des précipitations.

$$Ce = \frac{Y}{P} \times 100$$

Tableau. 57 : Estimation de coefficient d'écoulement

			Y en mm	P en mm	Ce %
Bassin	versant	oued	9.462	319,7	2.96
Taria					
Bassin	versant	oued	14.824	273.54	5.42
Saïda					

4.2.4.4. Débit de crue (Qc)

La crue est un écoulement à régime variable pendant lequel le débit atteint des valeurs élevées par rapport au module.

Selon Malet et Gautier, le débit de crue est estimé par la formule suivante :

$$Q_c = 2K \log(1 + AH) \frac{S}{\sqrt{L}} \sqrt{1 + 4 \log T - \log S}$$

L : longueur du talweg principal

T : période de retour en années = 14 ans

H : module moyen annuel

K : coefficient dépendant de la morphologie du bassin versant = 1,27

S : Surface du bassin versant

A : Constante égal à 20 pour l'Algérie

Donc ;

Tableau. 58 : Estimation de débit du crue

			L en Km	S en Km²	Qc en m³/s
Bassin	versant	oued	70	270	480.18
Taria					
Bassin	versant	oued	35	146	306.19
Saïda					

Les valeurs de la formule de MAILLET et GAUTIER sont bien estimées car elle fait intervenir certains nombres de facteurs qui dépendent des caractéristiques du bassin versant.

4.2.4.5. Evaluation des pertes de volume

La capacité totale de la retenue comprend les volumes suivants :

- Volume utile : quantité d'eau pour les besoins d'alimentation des agglomérations en eau potable pour l'irrigation et les industries.

- Volume infiltré : correspond à la tranche d'eau perdue par infiltration
- Volume évaporé : correspond à la tranche d'eau perdue par évaporation
- Volume mort : tranche de la réserve envasée. Ce qui nous intéresse dans ce travail c'est le volume mort pour estimer la durée de vie du barrage.

4.2.4.6. Apport solide

Les particules érodées du bassin versant et des oueds sont transportées par les eaux et arrivant au barrage, les grosses particules s'accumulent en amont de la retenue et les fines particules se déposent par décantation sur le fond de la réserve auprès de la digue.

L'apport solide peut être estimé par la formule de SOGREAH pour les sols à faible perméabilité.

$$E_s = 1400 \times Y^{0,15}$$

Avec :

Tableau. 59 : Estimation de l'apport solide

	Y en mm	E _s en T/km ² /an
Bassin versant Oued Taria	9.462	1961.22
Bassin versant Oued Saïda	14,823	2097.82

L'apport solide total sera :

$$V_s = \frac{E_s \times S \times \%}{T_s}$$

S : Surface du bassin versant

T_s : concentration massique = 1,15 g/cm³ (donnée par le service de dragage)

Tableau. 60 : Estimation de l'apport solide total

	S en km ²	E _s en T/km ² /an	V _s en m ³ /an
Bassin versant Oued Taria	270	1961.22	1640689.09
Bassin versant Oued Saïda	146	2097.82	2805049.09

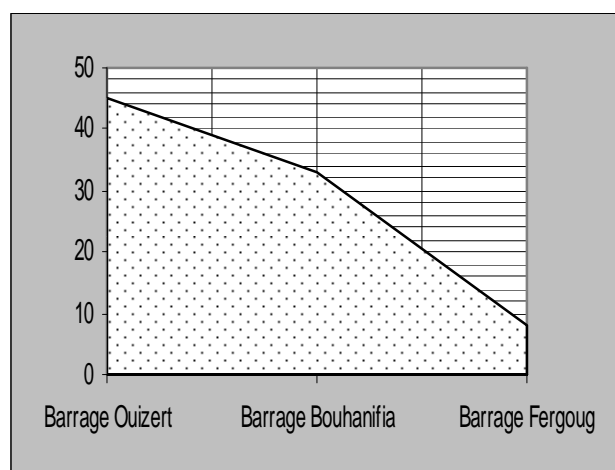
La moyenne arithmétique de l'apport solide du deux bassin versants = 2222869.09m³/an

4.2.4.7. la durée de l'envasement total du barrage :

$$t = \frac{\text{Capacité du réservoir}}{\text{débit solide annuel}}$$

Tableau. 61 : Estimation de la durée de l'envasement total

	<i>La capacité en (million)</i>	<i>Durée de vie (t) en (ans)</i>
<i>Barrage ouizert</i>	$100 \cdot 10^6$	44.99
<i>Barrage de bouhanifia</i>	$73 \cdot 10^6$	32.84
<i>Barrage de Fergoug</i>	$18 \cdot 10^6$	8.1



A partir de l'analyse des données de la station de 3 rivières, nous avons estimé la durée de l'envasement des barrages de la wilaya de Mascara

Figure. 67 : Durée de vie des barrages de la wilaya de Mascara (an)

4.3. Méthode physicochimique et hydrologique

4.3.1 Problématique

Les bassins versants des oueds Taria et 3rivières sont des affluents de oued el Hammam, contribue à l'envasement des barrages de la wilaya de Mascara (Bouhanifia, Fergoug et Ouizert) sur l'oued el Hammam. La compréhension du phénomène du transport solide aidera les

gestionnaires de barrages à minimiser le problème de l'alluvionnement (Remini.B et al, 2005). L'approche méthodologique adoptée consiste à rechercher un modèle régressif pouvant expliquer le débit solide par le débit liquide mesuré au niveau de la station de l'oued Taria et 3rivières, en étudiant cette relation à différentes échelles : annuelles, saisonnières et mensuelles pour trouver la meilleure relation représentative du phénomène. L'ensemble des données disponibles couvre les années 1989/1990 à 2002/2003 pour la station de Taria et 1992/1993 à 2002/2003 pour 3rivières. Les résultats montrent que le modèle puissance explique la plus grande partie de variance (plus de 70% de la variance). Les modèles obtenus à l'échelle mensuelle et instantanée (regroupés par mois) ont donné le meilleur coefficient de corrélation. Le débit liquide explique, à ces échelles, la variation du débit solide dans le temps. En utilisant le modèle ainsi obtenu à cette échelle mensuelle. Ce résultat confirme ceux trouvés par différents chercheurs en Algérie et au Maroc.

Le problème de disponibilité des données relatives au transport solide se pose avec acuité en Algérie et plus particulièrement dans la région de Mascara. Par ce travail, dans un premier temps, des modèles explicatifs de la variation du débit solide par le débit liquide ont été développés pour différents cas de regroupements de données (inter annuelles, annuelles, mensuelles et saisonnières) (Boualem.A et al, 2006). Les modèles (Achite et al, 2005) obtenus aux échelles mensuelle ont donné les meilleurs coefficients de corrélations. Le débit liquide, à l'échelle mensuelle, explique plus de 74 % de la variance du débit solide. La disponibilité des données du débit liquide à l'échelle mensuelle nous a conduit à utiliser, pour quantifier le transport solide dans le bassin versant de l'oued Taria et trois rivières et à partir de quantification du transport solide, on peut évaluer l'érosion spécifique et la durée de vie des barrages de la wilaya de mascara le modèle développé à cette échelle. Et en outre la méthode physico-chimique a permis de visualiser l'intensité et le degré de résidu sec et la minéralisation.

4.3.2. Méthode et matériels :

A cet égard, nous avons utilisé la méthode la plus adéquate à savoir : la méthode du résidu sec (Révélation la suspension dissoute dans l'eau dans laboratoire) et plus nous avons déterminé la minéralisation pour les deux stations (Taria et 3rivières) et nous avons fait plusieurs échantillonnages d'eau au long des oueds et de façon systématique.

Nous avons porté le choix sur deux stations hydrométriques (comme à titre indicatif) se trouveront à proximité l'une par rapport à l'autre (Stations de trois rivières et Taria).

Concernant l'évaluation des débits solides au niveau des stations hydrométriques, nous avons déterminé la concentration:

$$Q_s = C \times Q_l$$

Q_s : Débit solide en Kg/s

C : Concentration en Kg/m³

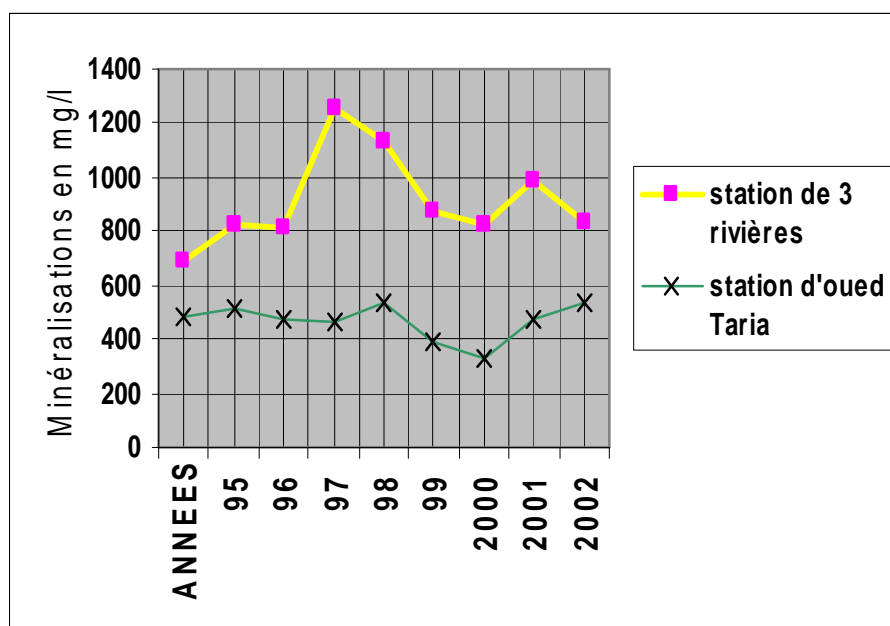
Q_l : Débit liquide en m³/s

4.3.3. Résultats et interprétation :

D'après les données physico-chimiques, On peut dire que la station de Taria est moins minéralisée par rapport à la station limitrophe (3rivières).

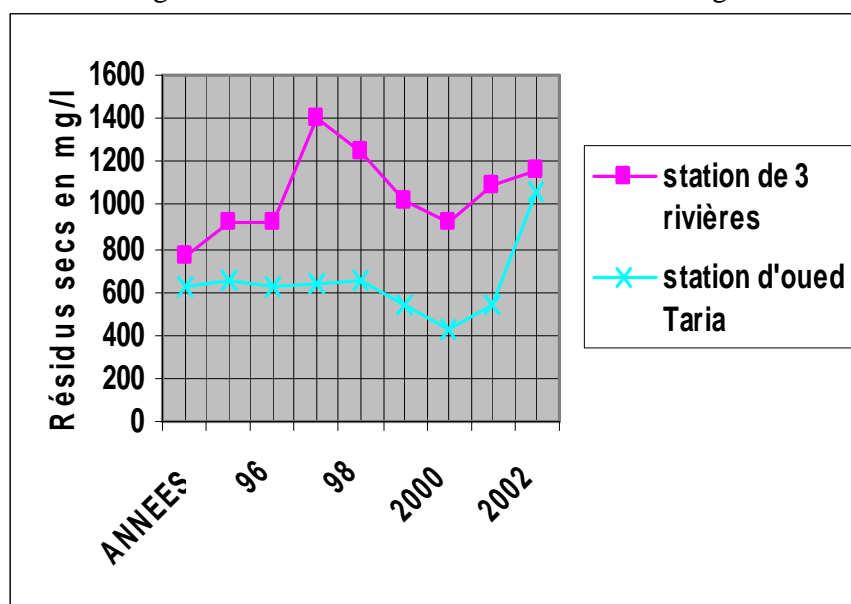
La station de trois rivières indique une grande croissance d'accumulations des suspensions solides dans l'eau et par contre la station de Taria montre une légère domination des solutions

solides dissoutes dans l'eau et pour plus de précision voici les figures ci dessous (Fig.68, Fig. 69) qui montrent ce phénomène : Année (1993-2002) en fonction du résidu sec et minéralisation.



L'eau de la station Taria est moins minéralisée par rapport à 3 rivières

Figure.68 : Variation de la minéralisation en mg/l



Le résidu sec de 3 rivières est complètement supérieur par rapport à la station de taria

Figure. 69 : Variation des résidus secs en mg/l

Et d'autre part nous avons employé aussi la méthode d'ordre hydrologique pour comparer à celle de physico-chimique.

En outre, l'analyse hydrologique montre que, la station de Taria indique un coefficient de corrélation de 0.79 par rapport à la station de trois rivières (0.5) cela pour vous dire que le degré de l'érosion hydrique se déclenche dans la station de oued Taria

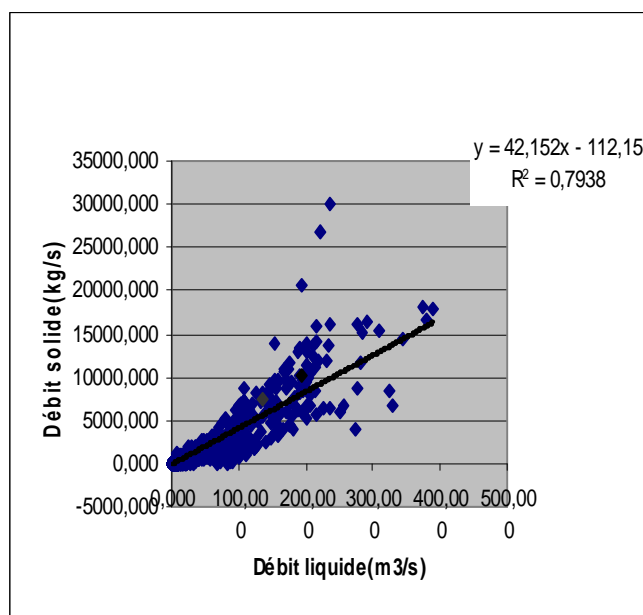


Figure. 71: Relation débits liquides instantanés par rapport aux débits solides observés (Station de l'Oued Taria)

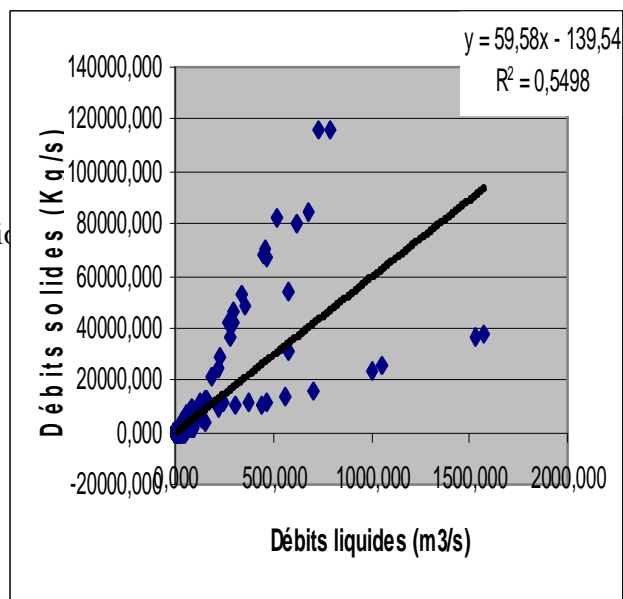
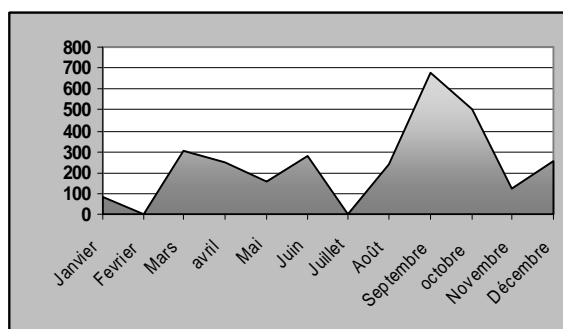


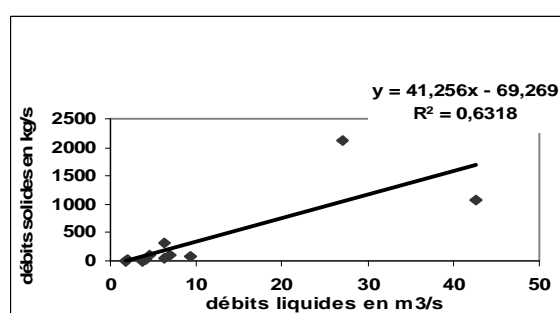
Figure. 70 : Relation débits liquides instantanés Par rapport aux débits solides observés (Station de 3 rivières)

Cette méthode consiste à faire quantifier le transport solide au niveau des barrages (voir Fig.72, Fig.73 et Fig. 74) par le biais des modèles appropriés (Fournier.Fet al, 1962).



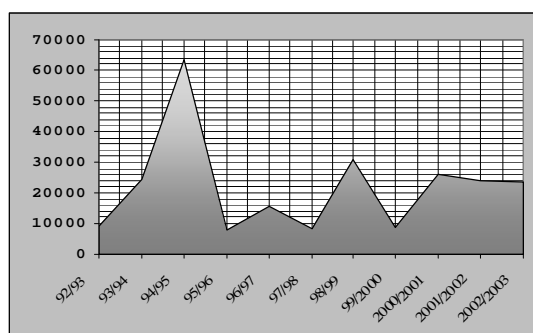
Le mois Septembre indique les nombres élevés d'observations

Figure. 72 : Nombres d'observations à échelle mensuelle de station 3 rivières



Le traitement à l'échelle mensuelle donne une bonne corrélation

Figure. 73 : Régression linéaire entre les débits liquides et solides de 3 rivières à l'échelle mensuelle



A l'échelle annuelle, l'année 1994/1995 représente la valeur élevée de l'érosion spécifique

Figure. 74 : Variation interannuelle de l'érosion spécifique de la station de 3 rivières en tonne/km²/an

4.4. Utilisation d'un modèle mathématique du transport solide : cas de la station de Hacine

4.4.1 Situation et Présentation des paramètres géomorphométriques du bassin versant de l'Oued El Hammam :

Le bassin versant de l'Oued El-Hammam fait partie du grand bassin versant de la Macta. Il est limité par les monts de Beni-Chougrane au nord et les massifs de Saïda au sud. Le bassin versant de l'Oued El-Hammam présente des ensembles naturels forts variés, ce qui justifie ses dimensions : 3468 Km².

L'Oued El-Hammam (Figure 75a et Figure 75b) prend naissance au sud de Saïda. L'exactitude de la surface et du périmètre du bassin versant dépend de l'échelle de la surface et de la densité du réseau hydrographique ; plus ce dernier facteur est bien marqué, plus la délimitation est nette et plus le calcul de divers est plus ou moins précis.

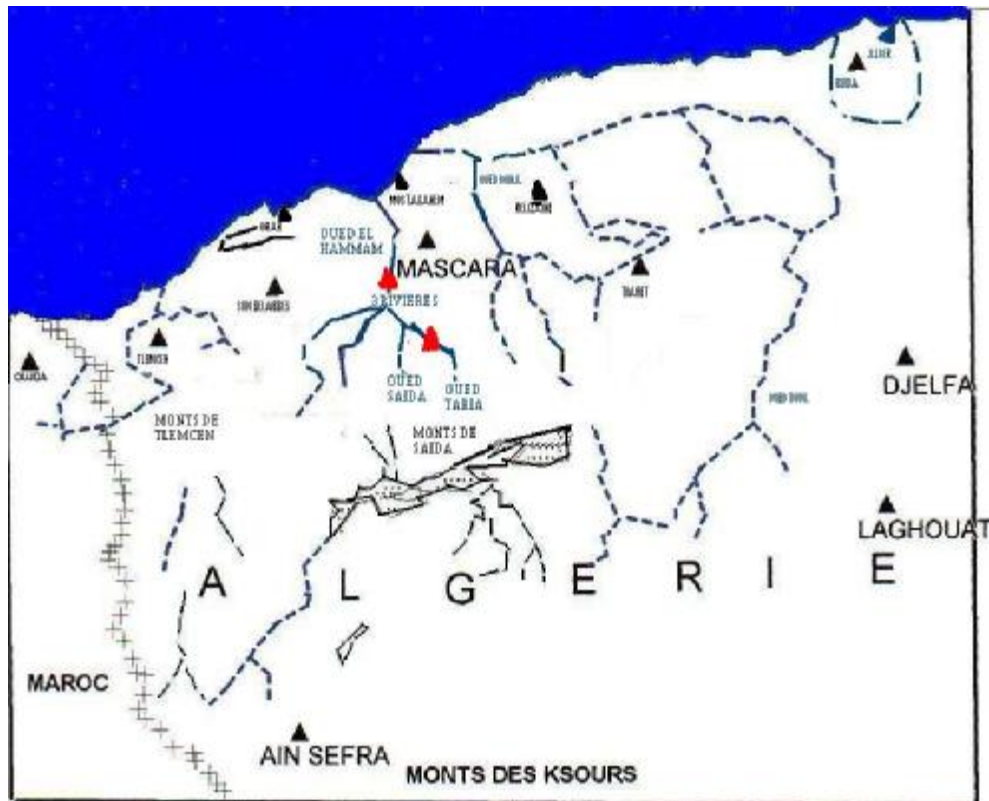


Figure n° 75a : Situation du bassin versant de l'Oued El Hammam

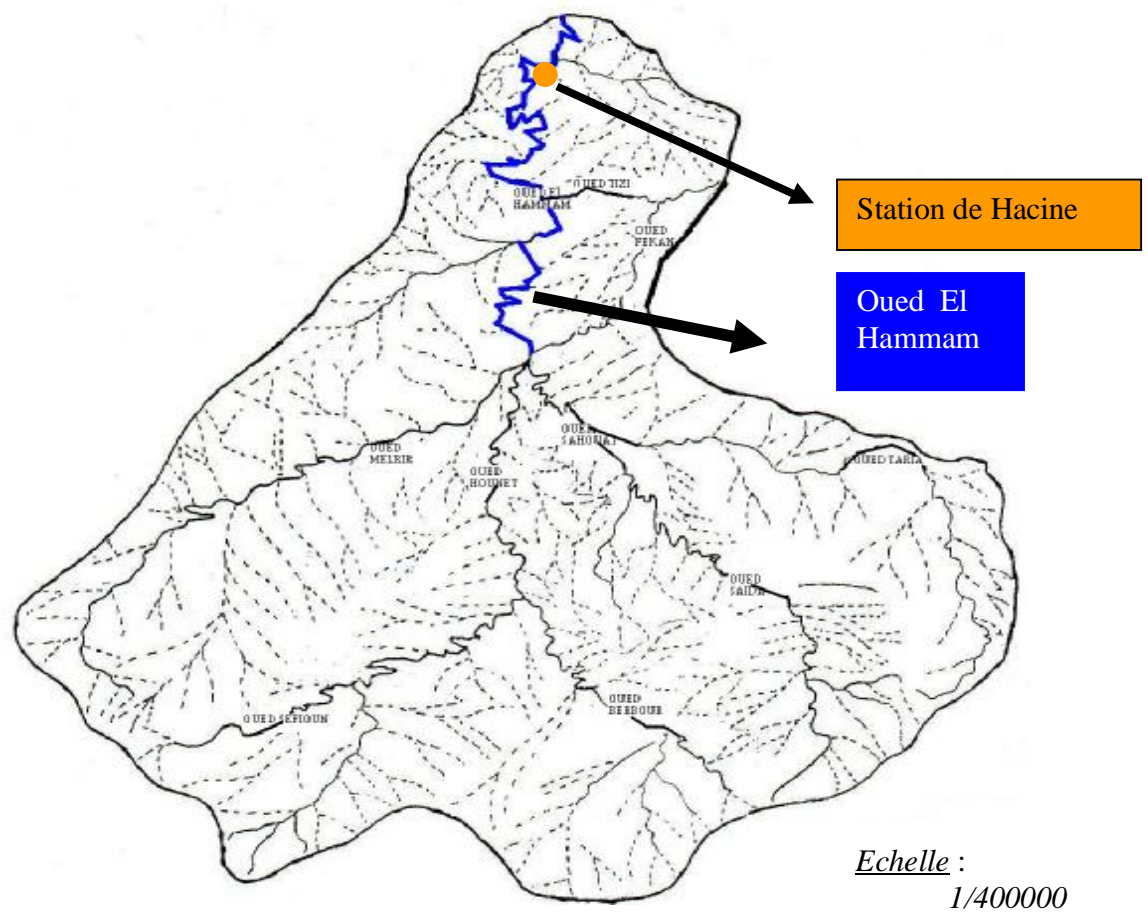


Figure.75b: Carte du réseau hydrographique du Bassin versant de l'oued El-Hammam

Les paramètres physiques et morpho métriques et les indices de pentes sont illustrés dans les tableaux suivants

Tableau. 62 : Les Indices de Pente du bassin versant de l'oued El Hammam

	Longueur L(Km)	Altitude H5%(m)	Altitude H95%(m)	Altitude Hmax(m)	Altitude Hmin(m)	Pente globale Ig %	Pente de Roche IR%	Imoy% Pente moyenne
B.V. Oued El Hammam	113.51	1000	400	1050	175	0.52	0.32	0.77

Tableau. 63 : Les paramètres morphométriques du bassin versant de l'Oued El Hammam

	Densité de drainage $D_d(Km/Km^2)$	F_s Fréquence des cours d'eau	R_c Rapport du confluence	R_L Rapport du longueur	C_t Coefficient du torentialité C_t	T_c Temps de concentration en (Heures)
BV Oued El Hammam	0.47	0.15	4.53	3.07	0.06	21

Il existe dans le bassin versant de oued El Hammam plusieurs stations hydrométriques et parmi ses stations : la station de Hacine. Elle est installée dans le bassin pour l'estimation des débits dans les oueds.

4.4.2 Méthode et résultats

La station de Hacine dispose de mesures hauteurs d'eau et les débits liquides à partir de 1994 jusqu'à 2002. Des prélèvements quotidiens des hauteurs d'eau, dont la fréquence augmente en

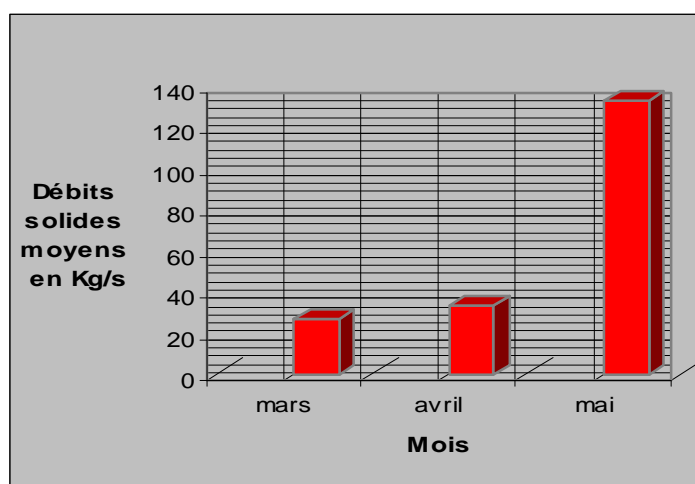


Figure.76 : Les variations mensuelles des débits solides
Le long de période (1994-2002)

période de crue, sont effectués pour l'estimation du transport solide. Pour la collecte des différentes données, l'A.N.R.H. (agence nationale des ressources hydriques) (Ministère de l'hydraulique, 2003) a été amenée à faire l'inventaire de tous les fichiers ayant rapport avec le transport solide sur support informatique.

En se basant sur des données de l'A.N.R.H., nous disposons d'une série de 3014 valeurs de débits instantanés, de concentration en matière allant de 01 janvier 1994 à 1 janvier 2002. Les données obtenues ont été classées par année ou se retrouvent la date du prélèvement, son heure, sa hauteur en cm, son débit instantané en m³/s et sa concentration en élément en suspension en g/l.

L'introduction de toutes ces données permet d'avoir le débit solide instantané en kg/s. Il est donné par la relation suivante :

Résultats et discussions

$$Q_s = C * Q_l \quad (1)$$

D'où :

Q_s : le débit solide [kg/s];

C : la concentration en élément en suspension [g/l];

Q_l : le débit liquide [m³/s].

A la station de Hacine, nous disposons une série de mesure de 1816 valeurs de hauteurs d'eau (H en cm), de débits liquides (Q_l en m³/s) et de concentration en matières en suspension (C en g/l) (*voir Figure.76*) ont sélectionnées pour l'établissement du rapport entre le débit liquide et le débit solide et ce qu'on remarque la concentration dans le mois Mai est plus intense qui confirme le déclenchement des crues en mois de Mai.

L'utilisation du programme A.N.R.H. «Concentre/Bashyd», nous a permis d'obtenir le débit solide en kg/s), pour chaque hauteur prélevée sur la base des matières en suspension observées, donc la concentration est proportionnelle au débit liquide ce qui montre *la Figure 77* le débit solide est important et par la relation suivante on détermine ce débit solide :

$$Q_s = C * Q_l \quad (1)$$

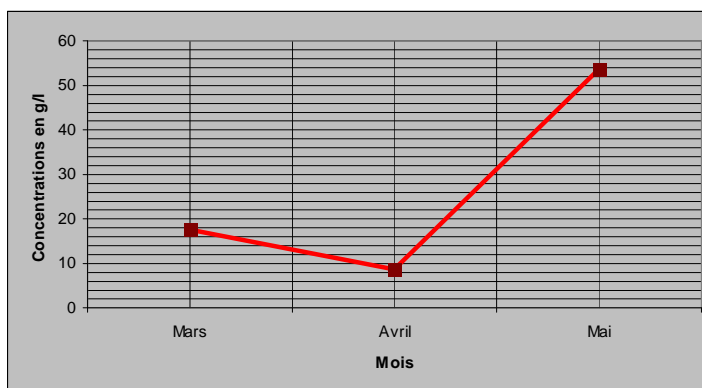


Figure. 77 : Variations des Concentrations dans la saison printanière
De période (1994-2002)

Pour ce travail (Boualem. A, Mederbal. K, 2008), on a utilisé un fichier comportant la date, l'heure, la hauteur d'eau en cm, le débit liquide en m³/s, la concentration en matière en suspension en g/l et le débit solide en kg/s de chacun des prélèvements effectués. Le rapport débit liquide concentration ou débit liquide débit solide a été soumis à des relations linéaire, logarithmique, polynomiale, puissance et exponentielle (Walter. H et Altinakar M.S, 1996) . On signale que les relations puissance et polynomiale semblent donner les meilleurs coefficients de corrélation. La bonne corrélation peut s'expliquer par l'effectivité de la relation c'est-à-dire que le débit solide est en fonction du débit liquide par l'équation (1). Les relations débits liquides débits solides sont respectées et elles permettent de quantifier et évaluer le transport solide en suspension dans l'oued (voir *figure 78*).

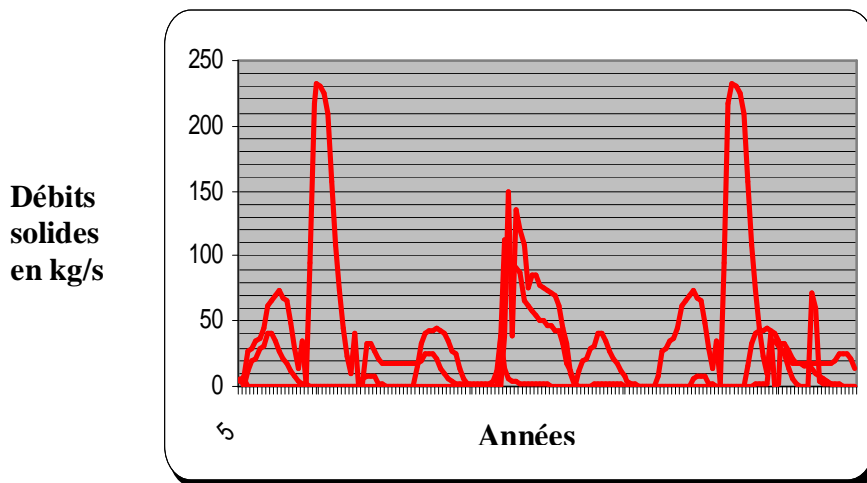


Figure.78 : Fluctuations des débits solides de la station
Hacine de période (1994-2002)

Pour le calcul du transport solide journalier en suspension, on utilise les caractéristiques de la corrélation débit liquide débit solide pour la saison du printemps. Le calcul se fait sur une période de 9 ans allant du 94 au 2002.

Pour la saison du printemps, la relation puissance est de la forme :

$$Q_s = 3.50 * Q_l^{1.49} \quad (2)$$

et avec $R=0.91$. Ces dernières étant le facteur principal du transport solide.

L'échantillonnage a été effectué sur 03 sections. Ils ont été pris à la surface, sur le long de oued El Hammam et plus précisément à l'aval de la station.

Tableau. 64 : Résultats de l'analyse granulométrique.

Illustre les résultats de l'analyse granulométrique :

Section de prélèvement	1	2	3
D50 [mm]	9	4	14

D'où : D50 = 8mm (en prenant la moyenne des 3 échantillons).

Pour le calcul du transport solide charrié dans oued El Hammam, on a utilisé la formule de Shields dont les conditions d'applications sont compatibles avec le cours d'eau étudié. La formule s'écrit :

$$g_s = 10 \cdot q \cdot J \cdot (T_0 - T_{cr}) / [(\rho_s - \rho) \cdot D50]^2 \quad (3)$$

Où :

g_s est le débit solide charrié par unité de largeur du lit de l'oued [kg/s.m] ;

› q est le débit liquide journalier [m³/s] ;

› J est la pente moyenne de l'oued ; elle est égale à 0.006 soit 0.6% ;

› $T_0 = a \cdot \gamma \cdot R_h \cdot I$ est la contrainte de cisaillement moyenne réelle (ou contrainte de frottement dépendant de l'écoulement) [kg/m²] ;

› $T_{cr} = 0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot D50$ est la contrainte de cisaillement sur le lit [kg/m²] ;

› ρ_s est la masse volumique des sédiments [t/m³] ;

› ρ est la masse volumique de l'eau [t/m³] ;

› D50 est le diamètre moyen des sédiments charriés [m] ;

› γ est le poids volumique de l'eau [t/m³] ;

› γ_s est le poids volumique des sédiments, pris égal à 2.7 t/m³ ;

› $a = (K_s/K_r)^{3/2}$ est un facteur correctif prenant en compte la rugosité dans le lit de l'oued ;

› R_h est le rayon hydraulique [m] ;

Dans le but de trouver une formulation mathématique expliquant le transport solide charrié en fonction du débit liquide observé, nous avons fait le calcul pour le cas :

$$T_0 = \gamma \cdot R_h \cdot I \text{ c'est à dire } a=1 \text{ et } T_0 = a \cdot \gamma \cdot R_h \cdot I \quad (4)$$

Partant de l'hypothèse que la série du printemps est responsable des grandes quantités de sédiments charriés, nous retrouvons pour ce cas une relation liant le débit solide charrié au débit liquide de la forme :

$$G_s = 0.88 \cdot Q_l^{1.17} \quad (5)$$

et avec : $R = 0.93$.

Sur la base de la relation $G_s = 0.88 \cdot Q_l^{1.17}$, nous calculons le transport solide journalier charrié ($G_s = g_s \cdot B$ où B est la largeur de l'oued) pour la même période de référence du 94 au 2002. La relation qui lie le débit solide charrié au débit liquide est une relation de puissance de la forme :

$$G'_s = 0.54 \cdot Q_l^{1.17} \text{ et avec : } R = 0.90$$

Sur la base de l'équation $G'_s = 0.54 \cdot Q_l^{1.17}$, une autre valeur journalière du tonnage de matériaux charriés supposée réelle, a été retrouvée. Pour le calcul du transport total, on applique : $W_t = Q_s + G_s$ et $W'_t = Q_s + G'_s$ (6)

A partir des équations $Q_s = f(Q_l)$, $G_s = f(Q_l)$ et $G'_s = f(Q_l)$, nous avons quantifié le transport solide total annuel en tonne. En prenant en considération le transport solide total annuel réel W'_t

(Cemagref, 1982) , l'érosion spécifique moyenne sur une période de 9 ans, est donné par la formule suivante :

$$E's = W't/S \quad (7)$$

Avec :

$E's$: le taux d'érosion spécifique [t/Km².an] ;

$W't$: le transport solide total [t] ;

S : la superficie du bassin versant [Km].

Apport solide est estimé à 438265.88 m³/an. (Oued El Hammam).

4.5. Conclusion:

Au cours de cette partie d'étude, nous avons conclu que :

Le reboisement, la restauration des sols, l'implantation des banquettes, la création des Petit barrages (retenues collinaires), la plantation des cultures suivant les lignes de niveau, la plantation des végétations à longue tiges sont avérées indispensables pour la protection des oueds.

Il a signalé qu'un programme spécial de lutte contre l'érosion a été lancé par les services des forêts. Une superficie de 1,5 millions d'hectares sera traitée d'ici 2010, à un rythme de 6700ha par an Pour l'envasement des barrages, plusieurs dispositifs ont été mis en place pour lutte contre ce phénomène (méthodes de chasses, soutirage par courant de densité et dragage (Wassila .H et al, 2005). *Et d'autre part* Une relation, très significative, mettant en rapport le débit liquide et le débit solide en suspension. Elle est de la forme : $Q_s = 3.5 * Q_l^{1.49}$ avec $R = 0.92$. Sur la base de cette relation, nous avons calculé le débit solide en suspension journalier pour une période de référence de 9 ans allant de 1993/1994 jusqu'à 2001/2002. Les résultats trouvés sont, alors, transformés en tonnage annuel de matériaux en suspension.

Deux relations, mettant en rapport le débit liquide et le débit solide par charriage. Elles sont de la forme:

$G_s = 0.88 * Q_l^{1.17}$ avec $R = 0.94$, (le coefficient de rugosité n'étant pas pris en compte) ;

et: $G's = 0.54 * Q_l^{1.17}$ avec $R = 0.90$, (le coefficient de rugosité étant pris en compte).

Respectivement à ces deux relations, nous calculons les débits solides charriés journaliers sur toute la période de référence allant de 1993/1994 au 2001/2002 que nous transformons par la suite en tonnage annuel de charriage de matériaux grossiers. Le volume total annuel de transport solide dans l'oued El Hammam au droit de la station de

Hacine est estimé par la somme des volumes en suspension et par charriage. Elles sont de la forme :

$W_t = Q_s + G_s$ (cas où la rugosité dans le lit de l'oued est négligeable) ;

$W't = Q_s + G's$ (cas où la rugosité dans le lit de l'oued n'est pas négligeable).

De l'analyse des résultats de transport solide dans l'oued El Hammam, nous déduisons les constatations suivantes :

- › Les débits solides charriés journaliers calculés en période sèche sont supérieurs à celles des débits en suspension et en période humide, on voit le contraire ;
- › Les débits solides charriés annuels sont toujours inférieurs à des débits solides en suspension ;
- › Le charriage, dans le cas où l'on ne prendrait pas en compte le coefficient correctif de rugosité dans le lit de l'oued, est estimé à 28% en moyenne de la suspension ; dans le cas où l'on prendrait en compte la rugosité du lit de l'oued, ce dernier est estimé à 19% de la suspension. Et, à la fin de ce travail, on peut dire que : si on cherche à limiter les transports solides et les risques d'envasement, c'est dans les zones les plus dégradées et les plus proches du lit de la rivière (correction de rivières, des berges et des torrents) qu'il faut intervenir.

4.5 Evaluation la perte de capacité du barrage (Cas du barrage de Bouhanifia)

4.5.1 La méthode des courbes-hauteurs par rapport à la capacité et la superficie du barrage

4.5.1.1 INTRODUCTION

Conçu à partir de 1930 pour une retenue de 70.000.000 m³ avec une mise en eau en 1940, l'ouvrage qui doit son nom au village de Bou-Hanifia situé à 4500 m au N-NE est un barrage en enrochements arrimés de 460 m de longueur totale en crête; il s'élève à 56 m au-dessus du thalweg; sa largeur au sommet est de 5 m, elle atteint 125 m à la base. Le volume total des enrochements est de 700.000 m³. De part la situation de la zone d'étude dans un étage bioclimatique de type semi aride, le phénomène de l'envasement des barrages constitue un enjeu d'envergure nationale.

Les écoulements de surface transportent avec eux les produits de la désagrégation des roches des régions hautes vers les zones basses et en définitive vers la mer. Cette section est une introduction brève aux problématiques du transport solide dont l'étude est devenue essentielle dans de nombreux domaines, de l'étude des processus d'érosion et de sédimentation (Abaoui et al, 2005) à celles sur la pollution des cours d'eau. Pour tenter d'atténuer l'ampleur de ces phénomènes et d'essayer d'agir d'une façon efficace pour sauvegarder le milieu physique, il est nécessaire de connaître et de maîtriser les processus élémentaires (Touaibia et al, 1999). Une fois cette connaissance acquise, il est alors possible de générer un modèle (**courbe hauteur-capacité et hauteur-superficie**), qui quantifie les sédiments transportés par les oueds et plus précisément par l'oued El Hammam l'**affluent principal du barrage de Bouhanifia** situé à l'Ouest du territoire national (**voir Fig.79**).

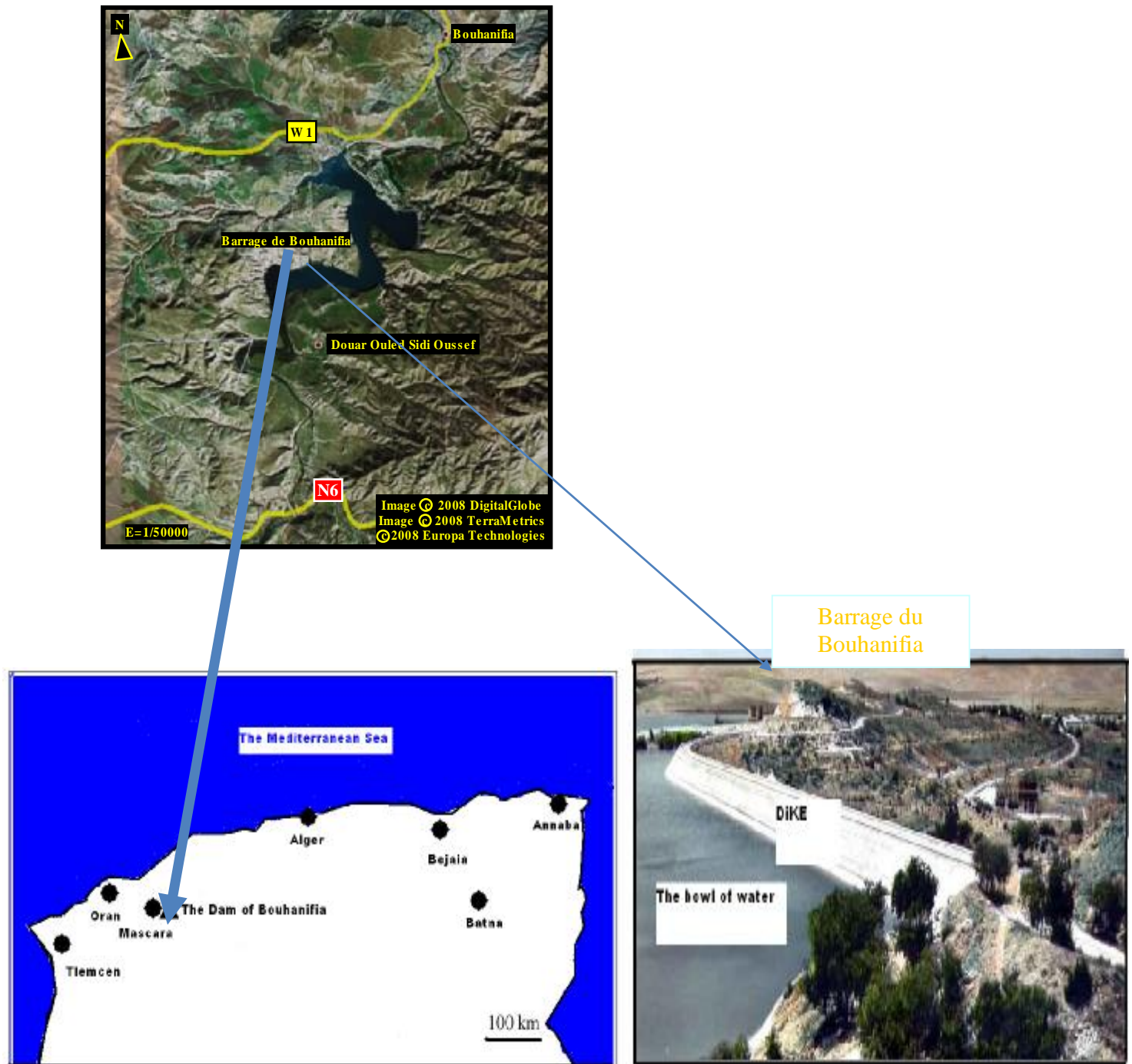


Figure 79. Carte de situation du barrage de Bouhanifia

4.5.1.2 MATERIELS ET METHODES

Sur la base de la documentation existante au niveau de l'Agence Nationale des Barrages (A.N.B), la collecte des données et leur traitement ont porté sur l'état de l'envasement du barrage de Bouhanifia en exploitation. Ainsi, la méthode la plus récente à savoir : la méthode des **courbes-hauteurs** par rapport à la capacité et la superficie du barrage a été utilisée. Pour ce barrage, un fichier a été créé avec le nom, la wilaya, la capacité initiale (C.I.), la capacité du dernier levé bathymétrique (C.D.L.), le taux d'envasement (T.E.), le volume régularisé (V.R.) et la destination (Tableau.65). A cet égard, les données de la période 1973 à 2003 ont été utilisées pour quantifier l'envasement du barrage. Les levés bathymétriques ont été établis par la société L.E.M. (**Laboratoire d'Etude Maritime**).

4.5.1.3 RESULTATS ET DISCUSSION

Jusqu'à l'altitude de 282 m déterminée par levé, l'évolution de la capacité de la retenue du barrage est relativement insignifiante. En effet jusqu'à cette valeur la capacité actuelle du barrage reste inférieure à 1 hm³. Au delà de cette altitude, la progression de la capacité est assez soutenue, puisque sur 2 m de différence, entre 282 m et 284 m, le volume est multiplié par 3,6.

La figure 80 illustre bien cette évolution exponentielle de la capacité entre l'altitude 282 m celle de la RN située à 295 m.

Il y a lieu de noter toutefois qu'entre 1973 et 2003 le barrage a perdu en capacité de par le phénomène d'envasement (en supposant que les 2 levés soient comparables du point de vue précision de calcul). L'évolution de la perte de capacité de la retenue du barrage (à la RN) est donc résumée comme le montre le tableau suivant :

Tableau 65: Evolution des pertes en capacité du barrage de Bouhanifia

Période	1948 (mise en service)	1973	1985	2003
Capacité (hm ³)	/	53487	51565	3811
Perte (hm ³)	/	/	1922	15377
% de perte	/	/	3,6	28,75

Depuis 1973, le barrage a ainsi perdu environ 29% de sa capacité. En comparant l'évolution de la capacité du barrage de 1985 à 2003, il s'avère que l'écart augmente en fonction de l'altitude du plan d'eau. Mais en pourcentage, nous constatons que l'écart entre les volumes relatifs à ces deux périodes est plus grand pour les altitudes les plus faibles. Cela permet de conclure que l'envasement serait plus important en aval du barrage. L'évolution de la différence entre les volumes de 1985 et 2003 (Voir Figure.80) est de 10% pour les altitudes basses alors qu'elle est de 1,6% pour des altitudes plus élevées.

En ce qui concerne l'évolution de la superficie du plan d'eau du barrage en fonction de l'altitude, le levé de 2003 montre que l'augmentation est plus rapide au delà de 1 m d'altitude de 288 m (Voir Figure.80).

Ceci est dû à une remontée rapide des fonds que nous constatons sur les profils en long et principalement dans la zone située aux environs des sommets du profil.

La figure 80 représente l'analyse de l'évolution de la superficie entre 1985 et 2003. Elle indique que les écarts sont les moins importants pour les altitudes proches de la RN (retenue normale). L'écart en superficie est de l'ordre de 15 ha au niveau de la RN alors qu'il est de 75 ha à l'altitude de 288 m.

Pour les altitudes où les écarts sont les plus élevés, l'interprétation est difficile à effectuer car il faudrait distinguer l'effet de l'envasement de l'effet dû à la configuration des berges entre les périodes de 1985 et 2003.

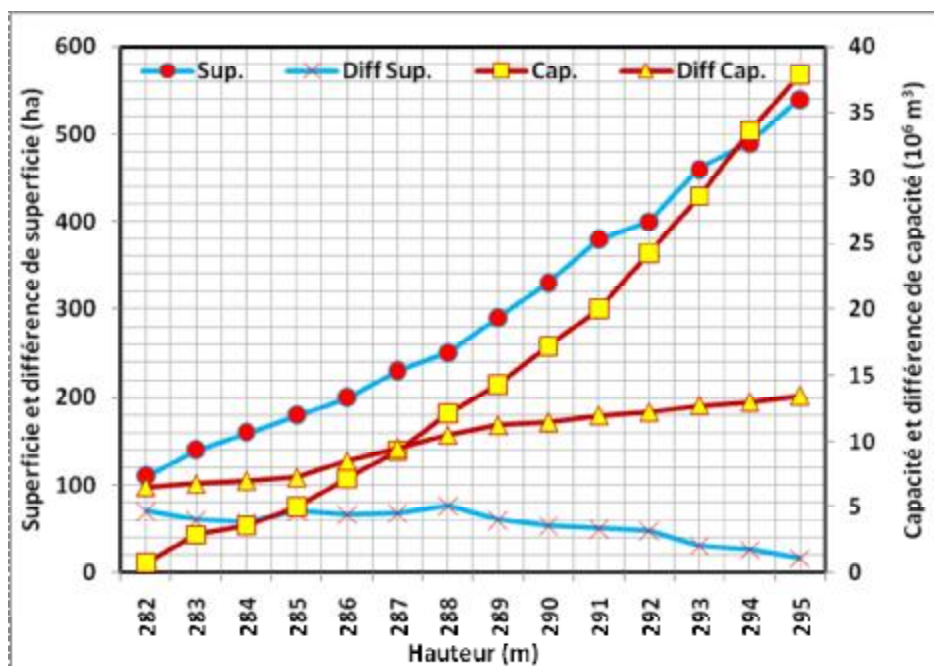


Figure. 80: Evolution de la capacité et de la superficie et de leur écart entre 1985 et 2003

L'évolution de la perte en capacité du barrage analysée à partir de l'année 1973 est comme suit au niveau de la RN (Voir Tableau.66).

Tableau 66: L'évolution de la perte en capacité du barrage

Périodes	1948 -1973	1973 -1985	1985 -2003	Total
Perte de la capacité (hm ³)	/	1922	13459	15381
Perte annuelle moyenne (hm ³)	/	0,160	0,748	0,513

Rapportée à l'année 1973 qui correspond à l'année pour laquelle nous disposons des premiers levés, la perte en capacité est donc de l'ordre de 513000 m³/an.

Par ailleurs, les différentes côtes minimales enregistrées sur l'ensemble du réservoir sont passées de 259,10 m en 1985 à 275,22 m en 2003.

4.5.1.4 CONCLUSION

Le présent travail expose les résultats à la campagne sur le barrage de Bouhanifia (wilaya de Mascara) réalisé du 9 au 26 Septembre 2003. Les résultats des travaux effectués sur le terrain ainsi que leurs traitements ont permis à l'ANB de suivre l'évolution du niveau d'envasement de la retenue et de gérer de manière rationnelle et précise sa capacité.

Afin d'aboutir à ceci, le groupement L.E.M. a effectué du 12 au 26 Septembre 2003 (13,5 jours) un levé topographique terrestre concernant une surface de 559,4 ha.

Tableau 67: Estimation de la capacité et de la superficie à la PHE et à la RN

	Superficie actuelle du barrage (ha)	Capacité actuelle du barrage (hm ³)
Retenue normale (295m)	517,98	38,11
PHE (300m)	662,79	67,80

Le levé bathymétrique d'une surface de 101,6 ha a été effectué du 12 au 14 Septembre 2003 (2,5 jours).

La superficie globale levée, qui a nécessité la détermination de 20500 points est donc de 661 ha repartie entre environ 85% en levé terrestre et 15% en levé bathymétrique. Le tableau 67 montre les résultats principaux obtenus pour l'estimation de la capacité et de la superficie à la PHE et à la RN.

La perte en capacité du barrage depuis 1973, année pour laquelle nous disposons des premiers levés, est évaluée à 15381 Hm³ équivalent à 28,75% de sa capacité de 1973. Ce qui correspond à une perte moyenne annuelle de 513000 m³/an qui aggrave la situation déjà alarmante concernant le déficit en eau en Algérie (Hadeef. R et Hadeef, A. 2001). Ainsi, nous proposons un éventail de remèdes dire en amont à appliquer dans le réseau hydrographique pour lutter contre le phénomène de l'érosion hydrique :

- Ø reboisement,
- Ø mesures de conservation des sols,
- Ø aménagement de terrasses traditionnelles cultivables,
- Ø correction des ravines (mécanique et biologique),
- Ø correction des berges (biologique),
- Ø création des petites retenues collinaires,
- Ø aménagement pastoral,
- Ø méthodes de chasses,
- Ø soutirage par courant de densité et
- Ø dragage.