

ABBREVIATION

ANRH : Agence nationale des ressources hydrauliques.

ANB T : Agence nationale des barrages et transferts.

BV : Bassin versant.

C.F.T : conservation des forets Tlemcen

U.S.L.E: Universal Soil-Loss Equation.

S.M.BA: Sidi M'hamed Benaouda.

T.S : Transport Solide.

P.I.S.A : Previsioni Interimento Serbatoi Artificiali.

LISTE DES PHOTOS

Photo I.1. Erosion en nappe.....	8
Photo I.2. Formation d'une ravine au niveau du bassin versant d'Oued Fodda...	9
Photo I.3. Appareil de mesure de la charge en suspension.....	16
Photo I.4. Echantillonneurs du T.S charrié.....	17
Photo I.5. Envasement du barrage d'Ighil Emda.....	21
Photo I.6. Blocage des vannes de fond.....	22
Photo I.7. Curage d'un canal par les moyens mécaniques.....	22
Photo I.8. Couleur verdâtre de l'eau du barrage de SMBA.....	23
Photo I.9. Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement.....	25
Photo I.10. Vanne de fond du barrage.....	30
Photo I.11. La drague est au centre de la retenue du barrage.....	31
Photo IV.1. Barrage Izdihar.....	67

LISTE DES FIGURES

FIGURE I .1. Diagramme de Hjulstrom.....	12
FIGURE I.2. Modes du transport solide.....	12
Figure I.3. Schémas des modes de transport solide.....	13
Figure I.4. Diagramme de Yalin-Schiels.....	14
Figure I.5. Bouteille d'échantillonnage.....	16
Figure. I.6. Processus d'envasement d'un barrage réservoir.....	18
Figure I.7. Comportement des sédiments grossiers.....	19
Figure I.8. Comportement des sédiments fins.....	20
Figure I.9 : Schématisation de la bathymétrie par nivellement.....	24
Figure .I.10. Schématisation de la bathymétrie par échosondeur.....	25
Figure I.11. Schéma de l'installation du siphon évacuateur.....	31
Figure II.1. Situation de la zone d'étude.....	33
Figure II.2. Carte hypsométrique d'oued Isser.....	37
Figure II.3. Courbe hypsométrique du bassin versant d'Isser.....	38

Figure II.4. Courbe représentative de l'état du bassin versant de l'oued Isser.....	39
Figure II.5. Carte des pentes.....	42
Figure II.6. Réseau hydrographique de la zone d'étude.....	44
Figure II.7 : Droite représentative du nombre de talwegs en fonction de l'ordre.	46
Figure II.8 : Droite représentative du rapport des longueurs en fonction de l'ordre.....	46
Figure II.9. Carte lithologique de la zone d'étude.....	49
Figure II.10. Carte de végétation de la zone d'étude.....	52
Figure III.1. Variations interannuelles des précipitations (1990 –2005).....	55
Figure III.2. Ajustement des pluies loi normale station sidi Abdelli.....	58
Figure III.3. Variation des précipitations moyennes mensuelles.....	59
Figure III.4. Variations saisonnières des précipitations (1990-2005).....	60
Figure III.5. Variations interannuelles des débits liquides (1988 –2004).....	61
Figure III.6 Ajustement des débits annuels loi de Gumbel station Sidi Aissa....	63
Figure III.7. Ajustement des débits annuels loi log normal station Sidi Aissa....	64
Figure IV.1. Table de classification des pentes.....	69
Figure IV.2. Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Isser.....	71
Figure IV.3. Carte d'occupation du sol.....	72
Figure IV.4. Carte des pentes.....	73
Figure IV.5. Variations interannuelles de l'indice d'envasement du Haut Isser...	75
Figure IV.6. Variations interannuelles de l'indice d'envasement du Bas Isser.....	77
Figure IV.7. Comparaison entre les apports solides spécifiques calculés.....	79

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1. Quelques estimations de la dégradation spécifique en Algérie.....	7
Tableau I.2. Valeurs de α pour différentes perméabilités.....	11
Tableau I.3. Statistiques sur la sédimentation des barrages algériens.....	26
Tableau II.1. Paramètres morphométriques du bassin versant d'oued Isser.....	38
Tableau II.2. Répartition altimétrique de la zone d'étude.....	40
Tableau II.3. Classification du relief (Ig) selon l'IRD.....	41
Tableau II.4. Classification du Relief en fonction de Ds.....	43
Tableau II.5. Paramètres du Réseau hydrographique de bassin d'oued Isser.....	47
Tableau II.6. Formations lithologiques par rapport à la surface totale du bassin versant d'oued Isser.....	49
Tableau II.7. Les surfaces des différents types d'occupations du sol du bassin versant d'oued Isser.....	50
Tableau III.1. Description des stations hydrométéorologiques du secteur d'étude.....	54
Tableau III.2. Paramètres de position des précipitations de la station Sidi Abdelli.....	57
Tableau III.3. Les précipitations pour une période de retour.....	59
Tableau III.4. Valeurs moyennes mensuelles des précipitations.....	60
Tableau III.5. Répartition des précipitations saisonnières	60
Tableau III.6. Débits liquides annuels.....	61
Tableau III.7. Paramètres de position des débits liquides.....	62
Tableau III.8. Les débits pour une période de retour.....	64
Tableau III.9. Les débits pour une période de retour.....	65
Tableau IV.1. Les caractéristiques de la digue du barrage.....	67

Tableau IV.2. Détermination de l'indice d'envasement du Haut Isser.....	74
Tableau. IV.3. Détermination de l'indice d'envasement du Bas Isser.....	76
Tableau.IV.4. Valeurs de α pour différentes perméabilités.....	78
Tableau. IV.5. Les apports solides spécifiques par modèle sogreah et P.I.S.A...	78
Tableau IV.6. Ecart entre le modèle P.I.S.A et le levé bathymétrique (1990-2004)	80
Tableau IV.7. L'apport solide mesuré (1990-2004).....	81
Tableau IV.8. Ecart entre le modèle P.I.S.A et le volume total du transport solide arrivé à la retenue du barrage entre (1990-2004).....	81

TABLE DES MATIERES

Introduction générale.....	1
Chapitre I : érosion, transport solide et envasement	
I.1.Introduction	4
I.2.L' érosion hydrique.....	4
I.2.1.les agents de l' érosion hydrique.....	4
I.2.1.1.les précipitation.....	4
I.2.1.2.le ruissellement.....	5
I.2.1.3.le sol.....	5
I.2.1.4.le couvert végétale.....	6
I.2.1.5.la topographie.....	6
I.3.Ampleur de l' érosion hydrique.....	6
I.4.les forme d' érosion hydrique.....	8
I.4.1.érosion en nappe.....	8
I.4.2.érosion linéaire.....	8
I.5.Quantification de l' érosion hydrique.....	9
I.5.1.Formule U S L E	9
I.5.2.Formule de Fourier.....	10
I.5.3.Formule de Tixeront	10
I.5.4.Formule de Sogreah.....	10
I.6.Transport solide.....	11
I.6.1.Mode de transport solide.....	12
I.6.2.Estimation analytique de débit solide.....	14
I.6.2.1.Transpor solide par charriage.....	14
I.6.2.1.Transport solide total.....	15

I.7.Mesure de transport solide.....	15
I.7.1.Mesure transport solide en suspension	15
I.7.1.Mesure transport solide en charriage	17
I.8.L'envasement.....	18
I.8.1.Mécanisme de l'envasement.....	18
I.8.1.1.Comportement des sédiments grossiers.....	19
I.8.1.2.Comportement des sédiments fins.....	19
I.9.Probleme posés par l'envasement des barrages.....	20
I.10.Méthode de détermination de l'envasement.....	23
I.10.1.comment évaluer le volume de l'envasement	23
I.10.1.1.Bathymétrie par nivellement.....	23
I.10.1.2.Bathymétrie par sondeurs.....	25
I.11.Envasement en Algérie.....	26
I.12.Méthode de lutte contre l'érosion et le transport solide.....	26
I.12.Les interfluves.....	27
I.12.les cours d'eau.....	28
I.13.Méthode de lutte contre l'envasement des retenues.....	29
I.13.1.Moyens préventifs.....	29
I.13.2.Moyens curatifs.....	30
Chapitre II : Présentation du bassin versant d'oued Isser	
II.1. Situation géographique.....	33
II.2.Caracteristiques morphométriques.....	34
II.2.1.Form de bassin.....	34
II.2.2.Etude de relief.....	35
II.2.2.1.Répartition altimétrique.....	36

II.2.2.2.courbe hypsométrique.	38
II.2.3.etude de la pente.....	39
II.2.3.1.indice de pente de roche.....	39
II.2.3.2. indice de pente globale.....	40
II.2.3.3.dénivelée spécifique	41
II.2.4.systeme hydrographique.....	43
II.2.4.1.densité de drainage.....	45
II.2.4.2.coefficient de torrentialité.....	45
II.2.4.3.temps de concentration.....	45
II.2.4.4.le rapport de confluence Rc.....	45
II.2.4.5.rapport des longueurs.....	46
II.3.Geologie du bassin d'oued Isser.....	47
II.3.1.les formations du quaternaire.....	48
II.3.2.les formations du plio- quaternaire.....	48
II.3.2.le tertiaire.....	48
II.3.2.le jurassique.....	48
II.4.occupation de sol.....	50
 Chapitre III : Hydrologie du bassin d'oued isser	
III.1.Introduction.....	54
III.2.etude des précipitations.....	54
III.2.1.les précipitations annuelles.....	55
III.2.1.1.etude statistique de précipitations annuelles.....	55
III.2.1.2.adéquation des données a une loi de probabilité.....	56
III.2.1.3.calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée	58

III.2.2.les précipitations mensuelles.....	59
III.3.etude des débits.....	60
III.3.1.etude statistique des débits liquides annuels.....	61
III.3.2.ajustement par la loi de Gumbel.....	62
III.3.3. III.2.1.3.calcul des débits pour une période de récurrence donnée par la loi de Gumbel.....	63
III.3.4. ajustement par la loi log normal.....	64
III.3.5. calcul des débits pour une période de récurrence donnée par la loi log normal.....	65
Chapitre IV : estimation de l'envasement du barrage Izdihar	
IV.1.introduction.....	67
IV.2.le modèle P.I.S.A	67
IV.2.1.application de modèle P.I.S.A.....	68
IV.2.2.resultats et interprétations.....	74
IV.3.validaion des résultats de modèle.....	76
IV.3.1.comparaison entre P.I.S.A et la formule de quantification de l'érosion hydrique Sogreah.....	77
IV.3.2.ecart entre le modèle P.I.S.A et les mesures réelles (levés bathymétrique).....	79
IV.3.3.ecart entre le modèle P.I.S.A et le volume total de l'apport solide à la retenue du barrage (1990-203).....	80
Conclusion générale.....	83
Références bibliographiques.....	84

INTRODUCTION GENERALE

Le phénomène de l'envasement des barrages est la conséquence de l'érosion et du transport solide. Il enregistre les valeurs les plus élevées au Maghreb et plus particulièrement en Algérie. En matière de quantité, l'infrastructure hydrotechnique algérienne, forte de 73 grands barrages, d'une capacité de 7 milliards de m^3 est amputée annuellement d'une capacité de 45 millions de m^3 (Remini, 2005).

L'envasement des barrages est l'une des conséquences la plus dramatique de l'érosion hydrique ; environ 180 millions de tonnes sont arrachés annuellement des bassins versants par le ruissellement dans le nord de l'Algérie (Demmak, 1982).

En plus des terres arrachées par l'érosion des bassins versants, une quantité non négligeable en provenance des sapements des berges participe à l'accélération de l'envasement des barrages réservoirs.

En outre il n'existe pas actuellement une méthode d'estimation préalable du phénomène de l'envasement qui fait l'unanimité des chercheurs vu sa complexité et le nombre importants de facteurs qui sont mis en jeu. En Algérie, plusieurs formules et modèles ont été essayés pour le calcul soit de l'érosion ou du transport solide tels que le modèle de Wischmeir (USLE), ou celui de Tixeront et Sogreah.

C'est Dans ce contexte que notre travail porte sur l'estimation du taux d'envasement du barrage Izdihar en utilisant pour la première fois dans le bassin de la Tafna le modèle Italien (P.I.S.A) (Previsioni Interimento Serbatoi Artificiali). Ce modèle utilise des paramètres climatiques, morphologiques, physiques et phytopédologiques d'un bassin versant extraits en partie sur des cartes en MNT et qui peut fournir une prévision du taux moyen annuel de sédimentation dans les réservoirs artificiels exprimées en (m^3/km^2).

Le mémoire s'articule en quatre chapitres :

-Chapitre I : porte sur

- l'érosion, les méthodes de quantification de son degré et son impact, les méthodes de calcul et les modèles.
- Le transport solide, ces types et les méthodes de mesure et de calcul.
- L'envasement, les méthodes de détermination et les méthodes de lutte contre l'envasement des retenues.

- Le Chapitre II : aborde une présentation générale du bassin versant de l'Oued Isser (situation géographique, étude morphométrique, étude géologique).

- Le Chapitre III : s'attache à décrire les paramètres hydrologiques du bassin versant en utilisant les données des précipitations, des débits, ainsi qu'une étude statistique afin de déterminer la loi d'ajustement de la distribution des précipitations et des débits.

- Le Chapitre IV : porte sur l'estimation de l'envasement au niveau du barrage Izdihar par le modèle P.I.S.A et la validation des résultats par comparaison avec ceux d'autres modèles et méthodes connues.

Enfin une conclusion générale sera donnée à la fin du travail.

CHAPITRE I
EROSION TRANSPORT SOLIDE
ET ENVASEMENT

1. Introduction :

Le sol constitue le support des cultures. C'est une entité dynamique qui s'approfondit sous l'action des processus de pédogénèse et s'amincit sous l'action de l'érosion (Guillobez, 1990), responsable de la diminution de la fertilité des sols agricoles.

L'érosion se produit naturellement sous l'action du vent (érosion éolienne) et l'eau (érosion hydrique) et peut être accélérée par divers facteurs tels que les travaux agricoles et les incendies. Ce phénomène affecte aussi la qualité des eaux et la capacité de stockage des barrages. Dans ce qui suit nous nous intéresserons particulièrement à l'érosion hydrique des bassins versants des cours d'eau.

2. L'érosion hydrique :

Son facteur moteur réside dans les précipitations. L'érosion hydrique comporte deux processus qui sont le détachement des particules comme phase préparatoire puis leurs transports à un lieu de dépôt.

2.1. Les agents de l'érosion hydrique :

2.1.1. Les précipitations :

Une pluie est caractérisée par son volume (pluviosité), son intensité (I) et sa durée (T). L'intensité est le paramètre le plus important. D'une part, elle joue sur le débit du ruissellement, et donc sur le détachement et la capacité de transport de l'écoulement et d'autre part, elle influence directement le détachement du sol par le splash. L'énergie cinétique d'une goutte de pluie lors de son contact au sol est :

$$Ec = \frac{1}{2} m v^2 \quad (I, 2)$$

Avec :

Ec : Energie cinétique (joule) ;

m : Masse de la goutte (kg) ;

v : Vitesse en m/s ;

Cette énergie est proportionnelle au logarithme de l'intensité d'après Wischmeier (Guillobez, 1990) :

$$Ec = 11.9 + 8.73 Ip \quad (I, 3)$$

CHAPITRE I : EROSION TRANSPORT SOLIDE ET ENVAISEMENT

Ec : Energie cinétique en joule/m²/mm ;

Ip: Intensité de la pluie en mm/h ;

Les premières gouttes de pluie s'infiltrent dans le sol d'autant plus aisément qu'il est meuble et que sa porosité est élevée. Cette première phase s'accompagne d'un déplacement des particules et d'un tassement du sol. Lorsque la couche superficielle s'humidifie trois processus se développent simultanément :

-La dégradation de la structure ;

-La formation d'une pellicule de battance ;

-Erosion par splash ou érosion par rejaillissant ;

2.1.2. Le ruissellement :

Le ruissellement est le plus important agent de transport et dans certains cas le principal agent de détachement dès lors que le volume non infiltré dépasse la capacité de rétention superficielle du sol (Camuzard, 2003).

Manning a proposé une formule reliant la vitesse d'écoulement à la pente et l'état du sol :

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot Rh^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \quad (I.4)$$

Rh : Rayon hydraulique ;

I : Pente de terrain ;

1/n : Coefficient dépendant de la rugosité des parois et du fond du canal (Guillobez, 1990) ;

La limite de déclenchement du ruissellement varie entre 20 mm sur sol sec à 3 mm sur sol humide. Un orage avec une intensité de moins 10 mm/h n'engendre pas d'érosion. Les longues averses généralisées de faible intensité tombant en hiver sur des sols saturés de vastes régions couvertes provoquent les plus forts débits de pointe dans les Oueds, ces forts débits chassent les sédiments préparés et stockés avant (Roose, 1991).

2.1.3. Le sol :

L'eau des précipitations qui parvient à l'interface sol-atmosphère entre en contact d'abord avec la végétation ; puis avec le sol. Quand la pluie atteint le sol nu, elle le bat provoquant l'effet de battance et de rejaillissement qui dépendent de la nature du sol (texture, granulométrie, matière organique, stabilité de la structure) ; puis l'eau s'infiltré dans le sol qui intervient par ces propriétés hydrodynamiques pour la contrôler (état hydrique du sol, réserve

CHAPITRE I : EROSION TRANSPORT SOLIDE ET ENVASEMENT

en eau, coefficient d'infiltration). Cette infiltration varie en fonction des conditions d'humectation qui sont fonction de :

- Etat hydrique du sol avant la pluie qui dépend des pluies précédentes ;
- L'intensité de la pluie, sa durée, l'état de surface et son évolution au cours de la pluie (Guillobez, 1990).

2.1.4. Le Couvert végétale :

C'est un facteur primordial de protection du sol contre érosion. L'interception des gouttes de pluie dissipe l'énergie cinétique et donc diminue l'effet Splash. Son système racinaire maintient le sol et favorise l'infiltration. L'érosion est une fonction décroissante de la couverture végétale qui est elle-même fonction croissante de la pluie (Colombani et Olivry, 1984).

2.1.5. La topographie :

L'érosion est étroitement liée aux types et aux caractéristiques topographiques. Sur les pentes fortes, l'eau de pluie ruisselle vite et cause une érosion grave. Sur les pentes concaves, l'érosion est moins intense tandis que sur les pentes convexes, la perte en terre est plus grande que sur pentes rectilignes. La longueur de la pente est moins importante que son gradient et sa forme, mais à précipitation égale, il s'accumule sur une pente plus longue un plus grand volume d'eau et le temps d'absorption par le sol est plus grand donc moins de ruissellement et d'érosion (Boukheir et al, 2001).

3. Ampleur de l'érosion hydrique :

En Algérie beaucoup de travaux sont menées dans cet aspect. Le tableau.3.1. Récapitule les estimations à travers quelques bassins versants. L'analyse de ces valeurs reflète un état de dégradation faible, mais il reste que ces estimations sont moyennes alors que les valeurs annuelles peuvent largement dépasser ces fourchettes. En effet, le bassin versant de Sebdou, donne une valeur annuelle maximum en (1990-91) qui atteint 4283 t/km²/an (Megnounif et al 2003), elle est de 5876 t/km²/an en (1995-96) (Ghenim ; 2008)

D'après une étude de Bourouba (2002) à travers 24 stations de mesures, les valeurs annuelles maximales peuvent varier entre 164 t/km²/an en (1977-78) à l'Oued Soubelle dans le bassin versant de Chott Hodna à 10375 t/km²/an à Oued Djendjen dans le bassin versant des côtiers Constantinois. Il est à signaler d'après le tableau. I.1, l'hétérogénéité des valeurs publiées par certains auteurs pour un même bassin versant. Ceci s'il n'est pas dû à la différence de l'étendue

CHAPITRE I : EROSION TRANSPORT SOLIDE ET ENVASEMENT

de la série de données exploitées, il est le résultat de la différence des méthodes de calcul utilisées pour l'estimation des apports solides ou bien de la fiabilité des données exploitées.

Tableau. I.1. Quelques estimations de la dégradation spécifique en Algérie.

Bassin versant		Ass (t/km ² /an)	Auteurs
30 bassins versant étudiés dont la superficie entre 100-3000 km ²		>500	Demmak, 1984
Le bassin versant de la Tafna	Tafna	150	Megnounif et al, 2003 (d'après SOGREAH)
	Sebdou (1988-89 à 1992-93)	1119	Megnounif et al, 2003
	Sebdou (1985-86 à 1997-98)	937	Bouanani, 2004
	Sebdou (1985-86 à 1997-98)	1330	Ghenim, 2008
	Mouilah (1977-78 à 1992- 93)	126	Terfous et al, 2001
	Mouilah (1977-78 à 1994-95)	364	Bouanani, 2004
	Mouilah (1977-78 à 1994-95)	165	Ghenim, 2008
	Isser (1988-89 à 1997-98)	180	Bouanani, 2004
	Sikkak 1972-73 à 1989-90)	170	Bouanani, 2004
Le bassin versant d'Oued mina	Sidi A.E.K. Djilali (1973-74 à 1994-95)	300	Touibia et al, 2001
	Oued, Al, Abtal (1973-74 à 1994-95)	210	
	Oued Abd (1973-74 à 1994-95)	136	Achite et Ouillon, 2007
	Oued Abd (1973-74 à 1994-95)	117	Achite et Meddi, 2005
	Oued Haddad (1973-74 à 1994-95)	212	
	Oued Taht (1973-74 à 1994-95)	191	
	Oued Hamara (1973-74 à 1994-95)	65	
Oued Mellah (1975-96 à 1997-98)		373	Khanchoul et Jansson, 2008
Harreza (Chellif) (1973-74 à 1996-97)		470	Megueni et Remini, 2008

4. Les formes d'érosion hydrique :

4.1. Erosion en nappe (sheet érosion) :

Une fois que les particules sont préparées par l'effet splash, le ruissellement se déclenche lorsque l'intensité devient supérieure à la vitesse d'infiltration. Une couche mince de sol uniforme est entraînée par le ruissellement avec des vitesses relativement faibles sur pentes douces (Xiaoqing, 2003). Ce type d'érosion est sélectif. Il appauvrit les horizons de surface en éléments fins et y concentre les éléments grossiers. Quantitativement, l'érosion en nappe est faible. Elle est estimée à environ 1 à 10 tonnes/ha/an (Roose, 1991).



Photo I.1. Erosion en nappe (site web)

4.2. Erosion linéaire (micro-channel ou Rill érosion) :

Le ruissellement en nappe s'organise et se concentre dans les petites dépressions provoquant des griffes (quelques centimètres). Lorsqu'elles ne sont pas traitées et selon la quantité et la vitesse du ruissellement, elles peuvent atteindre un stade développé pour donner soit des rigoles (quelques décimètres) soit des ravins qui attirent plus l'attention du public et qui peuvent avoir une forme en U ou V (Zachar 1981 ; Roose 1991).

Comme on peut également trouver les mouvements en masse (éboulement, glissement, solifluxion...etc). L'érosion en rigoles engendre une perte de terre de plus de 10 tonnes/ha/an et l'érosion en ravine plus de 100 tonnes/ha/an, tandis que le glissement de terrain et le sapement des berges donnent respectivement 1 000 et 10 000 tonnes/ha/an (Roose, 1991).



Photo.I.2. Formation d'une ravine au niveau du bassin versant d'Oued Fodda (Remini, 2008).

5. Quantification de l'érosion hydrique :

La quantification de l'érosion hydrique peut se faire soit :

- Par la mesure directe du transport solide au niveau des stations de mesure.
- Par des formules expérimentales

On citera dans ce qui suit quelques formules les plus utilisées :

5.1. Formule Universelle de perte en sol (USLE) :

Il s'agit d'un modèle d'érosion, permettant d'évaluer les zones à haut risque et de quantifier les pertes de sol moyennes annuelles. Le modèle permet l'estimation des quantités de sédiments qui seront transportées par le cours d'eau. La formule s'écrit :

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (I, 5)$$

Dans laquelle :

A : Perte de terre (tonne/ha/an) ;

R : Facteur d'agressivité climatique ;

K : Indice d'érodibilité du sol ;

CHAPITRE I : EROSION TRANSPORT SOLIDE ET ENVASEMENT

L : Facteur longueur de pente ;

S : Facteur de pente ;

C : Facteur agronomique ;

P : Facteur des aménagements antiérosifs.

Elle porte le nom de WISCHMEIER et SMITH. C'est la formule la plus utilisée mais sa complexité réside dans la difficulté de la détermination exacte de tous ses paramètres. (Bednarczyk et Madeyski, 1998).

5.2. Formule de Fournier :

$$Ass = \left(\frac{1}{36}\right) \left(\frac{P_m}{P_{am}}\right)^2 (2.65) \left(\frac{h}{S}\right)^2 (0.46) \quad (I, 6)$$

Avec

Ass : apport solide spécifique (t/km²/an) ;

P_m : précipitations moyennes mensuelles du mois le plus pluvieux (mm) ;

P_{am} : précipitations annuelles (mm) ;

h : dénivelée moyenne (m) ;

S : superficie du bassin versant (km²).

5.3. Formule de Tixeront :

Basée sur les données recueillies dans 32 bassins algériens et 9 bassins tunisiens sur une durée comprise entre 2 et 22 ans.

$$Ass = 354.E^{0.15} \quad \text{pour les bassins tunisiens} \quad (I, 7)$$

$$Ass = 92.E^{0.21} \quad \text{pour la région de l'est algérien} \quad (I, 8)$$

$$Ass = 200.E \quad \text{pour la région du centre algérien} \quad (I, 9)$$

Avec :

Ass : apport solide spécifique en t/km²/an ;

E : Ecoulement en mm.

5.4. Formule de Sogreah :

Basée sur les données de 30 bassins algériens, la formule est donnée par :

$$Ass = \alpha . E^{0.15} \quad (I, 10)$$



Avec :

Ass : apport solide spécifique (t/km²/an)

α : coefficient dépendant de la perméabilité du sol, donné au Tableau I.2

E : Ecoulement annuel (mm)

Tableau I.2 .Valeurs de α pour différentes perméabilités

Perméabilité	α
Forte	8.5
Moyenne	75
Moyenne à faible	350
Perméabilité faible	1400
Imperméable	3200

6. Transport solide :

C'est le deuxième processus constituant l'érosion hydrique. Il est par définition la quantité des sédiments (ou débit solide) transportée par un cours d'eau. Ce phénomène est limité par la quantité de matériaux susceptible d'être transportée (selon la fourniture sédimentaire). Il est régi par deux propriétés du cours d'eau :

➤ **La compétence** : Elle est mesurée par le diamètre maximal des débris rocheux que peut transporter le cours d'eau (Musy et Higy, 2003). Cette caractéristique est fonction de la vitesse d'eau comme le montre le diagramme de Hjulstrom qui divise le transport solide en trois phases : la sédimentation, le transport avec une fonction croissante qui est toujours au-dessous de celle d'arrachement des particules (l'érosion).

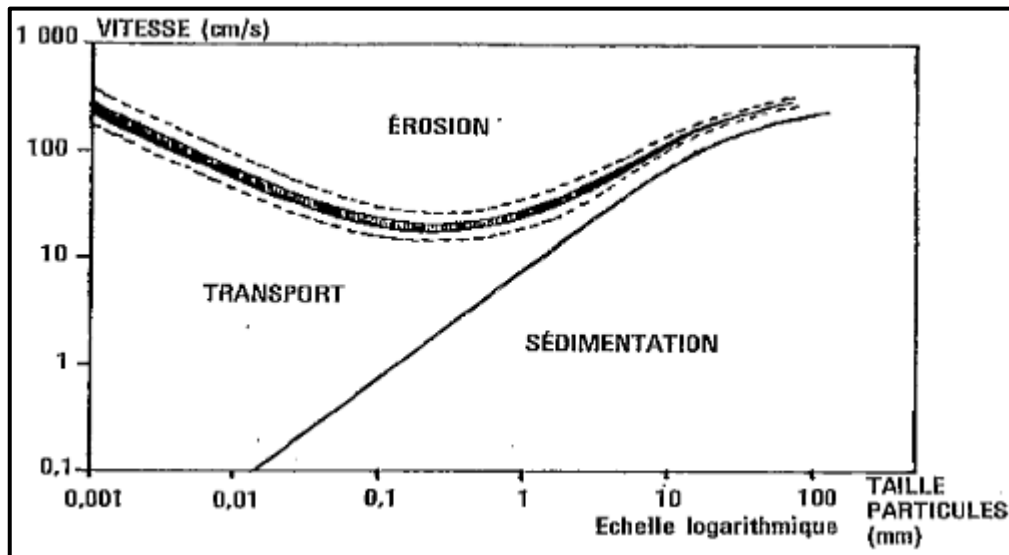


Figure I .1.Diagramme de Hjulstrom (Musy et Higy, 2003).

- **La capacité** : C'est la quantité maximale de matériaux solides que peut transporter en un point et à un instant donné le cours d'eau. Elle est fonction de la vitesse de l'eau, du débit et des caractéristiques de la section (forme, rugosité, etc...).

6.1. Modes du Transport solide :

Le transport solide total de sédiments est l'ensemble du transport des particules qui passent dans une section du cours d'eau, les sédiments sont transportés par plusieurs modes,

(Figure I.2) (Graf W, 2000).

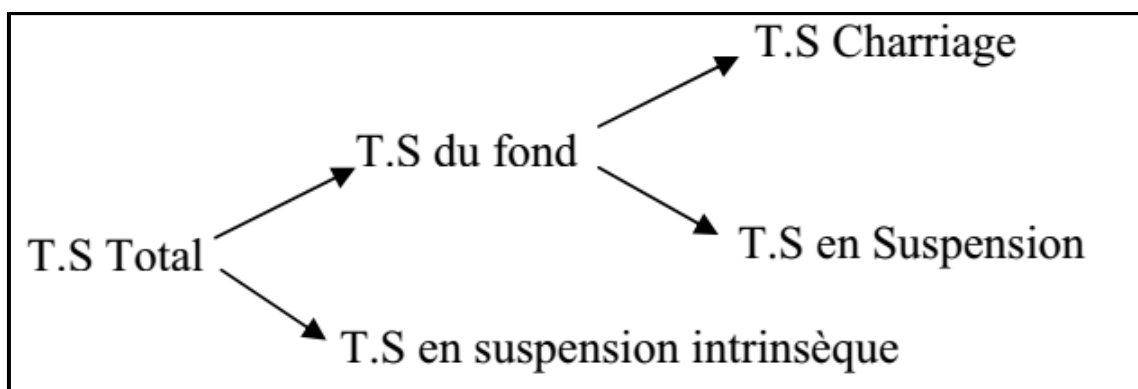


Figure I.2.Modes du transport solide (Graf W, 2000).

- **Charriage :**

Si les particules restent en contact étroit avec le fond, elles se déplacent en glissant, roulant ou sautant. Ce mode concerne les particules relativement grandes.

- **En Suspension :**

Les particules restent occasionnellement en contact avec le fond, elles se déplacent par bonds et restent souvent entourées d'eau. Cela concerne les particules relativement fines.

- **Suspension intrinsèque :**

Si les particules ne sont jamais en contact avec le fond, elles se déplacent en étant emportées par l'écoulement. Ceci concerne les particules très fines.

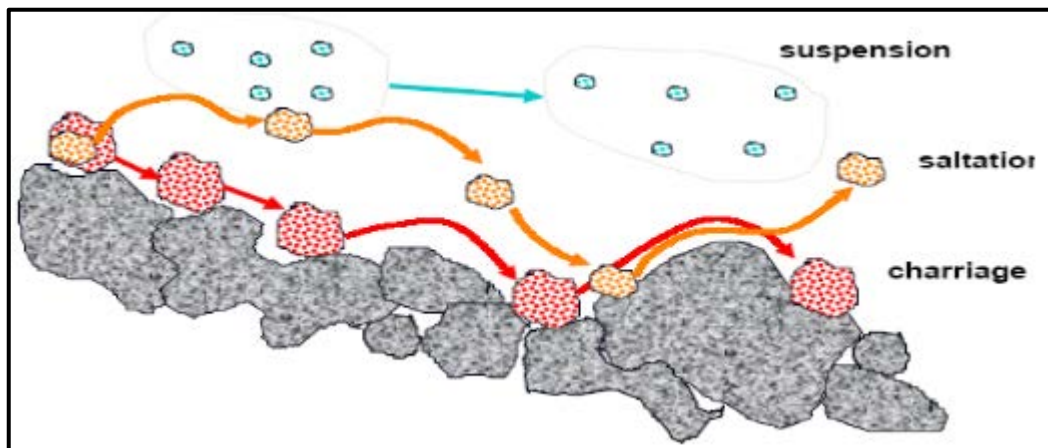


Figure I.3. Schémas des modes de transport solide (Graf W, 2000).

Le Diagramme de Yalin (figure I.4) donne les conditions de mouvement des particules solides en fonction de τ^* et d^* (Degoutte, G., 2006)

$$\tau^* = \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma_w).d} = \frac{\gamma_w.R.i}{(\gamma_s - \gamma_w).d} \quad (I, 11)$$

τ^* : Indice de Shields ;

τ^0 : Contrainte adimensionnelle (contrainte de SHIELD)

γ_w : Poids volumique de l'eau ;

γ_s : Poids volumique spécifique des grains ;

R : rayon hydraulique ;

i : pente de l'écoulement ;

d : Diamètre des grains ;

g : accélération de la gravité ;

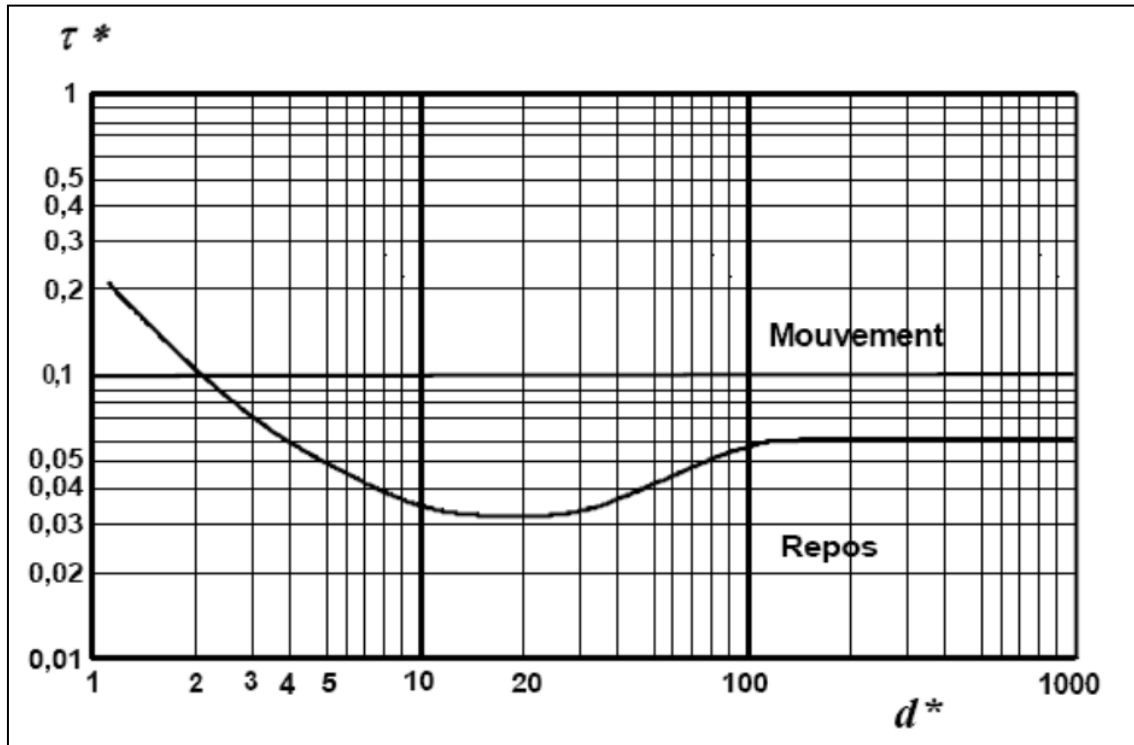


Figure I.4. Diagramme de Yalin-Schiels (Degoutte, G., 2006)

6.2. Estimation analytique du débit solide :

De nombreux hydrauliciens ont cherché à établir des relations permettant d'estimer le débit solide d'un cours d'eau, à partir de nombreuses mesures en modèle réduit ou sur fleuves, ces différentes formules donnent rarement des résultats comparables, car elles ont été établies dans des conditions différentes, il n'y a pas de formules universelle de transport solide.

6.2.1. Transport solide par Charriage :

- Meyer-Peter Müller (1948) :

Elle donne la capacité du transport solide quand les grains sont plus ou moins uniformes.

$$\frac{q_s}{\sqrt{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) \cdot g \cdot d^2}} = 8 \cdot (\beta \cdot \tau^* - 0.047)^{\frac{3}{2}} \quad (I, 12)$$

q_s : Débits solides en $m^3/s/m$ de largeur, exprimé en volume des grains.

β : Paramètre adimensionnelle compris entre 0,35 et 1 qui dépend de la rugosité des grains et du fond.

6.2.2. Transport Solide Total :

- **Engelund et Hansen (1967) :**

Cette formule donne le transport solide total en volume de grains (Vanoni V.A., 1977)

$$\frac{q_s}{\sqrt{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1\right) \cdot g \cdot d^3}} = 0.05 \cdot \left(\frac{k^2 \cdot R^{\frac{1}{3}}}{g}\right) \cdot \tau_*^{\frac{5}{2}} \quad (\text{I, 13})$$

k: coefficient de Strickler global du lit mineur.

Cette formule a été établie pour : 0,15mm < d < 5mm (sables).

7. Mesure du transport solide :

La quantité de sédiments transportés par un cours d'eau, à une section donnée peut être mesurée par plusieurs méthodes : (Mussy 2002)

- Collecte d'échantillons.
- Levé topographique et bathymétrique de lacs ou de retenues pour évaluer l'apport global de sédiments.
- Utilisation de traceurs de sédiments dont les signatures permettent surtout d'évaluer les taux de sédimentation.

7.1. Mesure du transport en suspension :

Elle consiste à mesurer une concentration en matière en suspension, une large gamme d'options est disponible, la méthode la plus rigoureuse pour obtenir la charge solide en suspension consiste à procéder, comme pour la mesure du débit, à une intégration de différentes concentrations et de vitesses sur plusieurs verticales, cette technique nécessite un matériel adapté.

Le dispositif de prélèvement le plus simple est la bouteille d'échantillonnage. (Figure I.5)

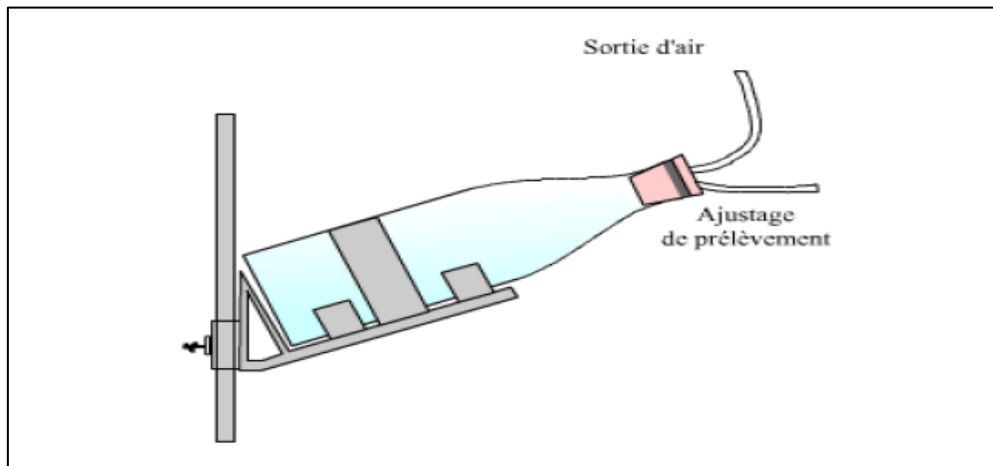


Figure I.5.Bouteille d'échantillonnage (Mussy 2002)

Ou par les échantillonneurs standardisés qui prélèvent à chaque verticale un certain nombre de mesures, comme le montre la photo I.3.



Photo.I.3. Appareil de mesure de la charge en suspension (Mussy2002).

Le calcul du débit solide en suspension se fait par intégration sur toute la section.

$$Q_s = \iint_S q_s = \iint_S C \cdot V \cdot dS \quad (I, 14)$$

C : concentration de sédiment.

V : vitesse d'écoulement.

Une mesure continue du transport solide en suspension est aussi possible suivant deux principaux types de mesures (Mussy ,2002)

a- Une mesure à l'aide de préleveurs d'échantillons automatiques réglés pour un pas de temps donné. Ce dispositif comprend un système de pompage et un transfert vers une série de flacons d'échantillonnages.

b- Une mesure de la turbidité à l'aide de turbidimètre, cette technique nécessite un calibrage préalable.

7.2. Mesure du transport solide par charriage :

Divers méthodes sont utilisées, les plus connues sont les pièges à sédiments, comme ceux de l'US Bureau of Reclamation ou du British Standards.

La photo suivante montre deux types d'échantillonneurs pour le transport solide charrié.



Photo. I.4. Echantillonneurs du T.S charrié (Mussy2002)

Des sondes à ultrasons peuvent être utilisées pour suivre le déplacement des dunes dans les fonds sableux à faible pente. (Mussy 2002)

La technique la plus récente est sans doute celle initiée par Belleudy (2009), qui consiste en une technique de mesure du transport solide charrié basée sur l'enregistrement par hydrophones et l'analyse du signal émis par les matériaux en mouvement au fond du lit.

Hors, des parcelles et des petits bassins versants dont les exutoires peuvent être équipés de pièges ou fosses à sédiments, la mesure du transport du fond reste imprécise, car les dispositifs utilisés peuvent perturber le régime du transport de fond.

8. L'envasement :

8.1. Mécanisme de l'envasement :

Le mécanisme d'envasement est généré en général par l'apport solide transporté par les cours d'eau qui viennent alimenter les réservoirs par les matériaux en suspension.

Un réservoir s'engrave d'autant plus rapidement que sa capacité devient de plus en plus faible par rapport au débit solide transporté par le cours d'eau qui l'alimente (Figure. I.6).

La construction de barrages modifie les conditions d'écoulements du débit solide, que ce soit pour le charriage ou pour le transport en suspension.

La formation de l'envasement dans les retenues des barrages passe par des étapes présentées dans la figure I.6.

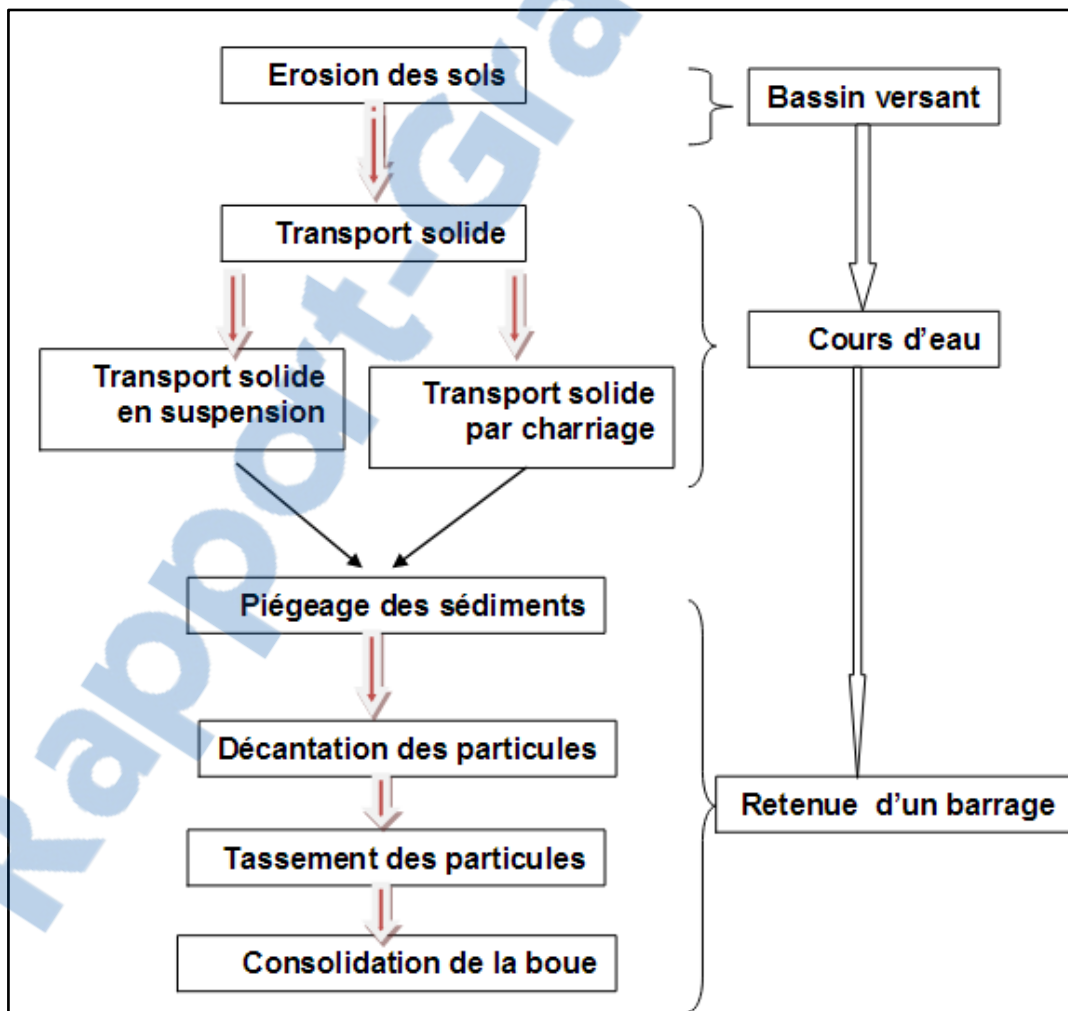


Figure. I.6. Processus d'envasement d'un barrage réservoir (Remini, 1990)

8.1.1. Comportement des sédiments grossiers :

C'est les sédiments transportés par charriage ; ils s'y déposent en forme d'un delta qui s'érige à l'embouchure du réservoir et progresse vers le barrage au fur et à mesure des apports (Figure I.7). (Cesare G, 1998)

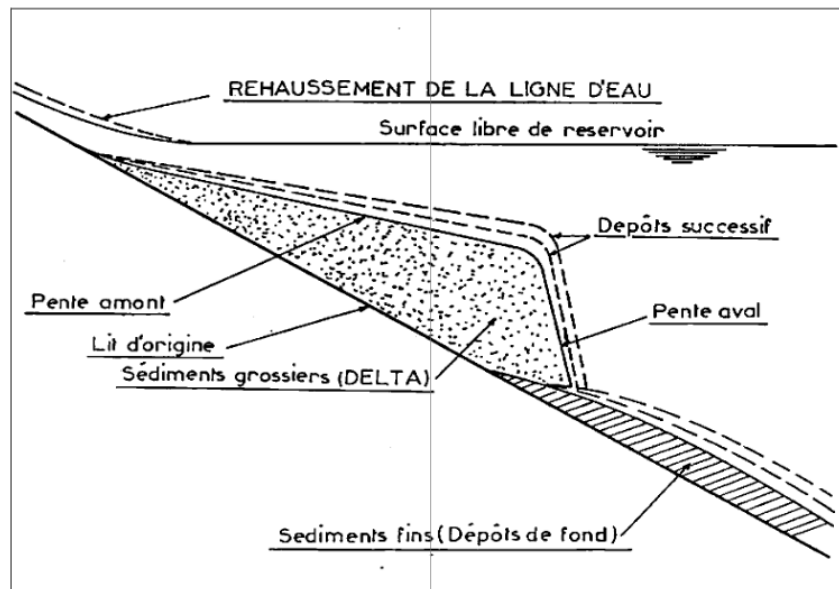


Figure I.7. Comportement des sédiments grossiers (CesareG, 1998).

8.1.2. Comportement des sédiments fins :

Ces matériaux sont transportés en suspension plus loin dans la retenue, pour se déposer au fond de cette dernière en couches relativement planes (figure I.8). Leur dépôt se fait, soit par décantation sur place, soit après leurs transports par les courants de densité. (Cesare, 1998).

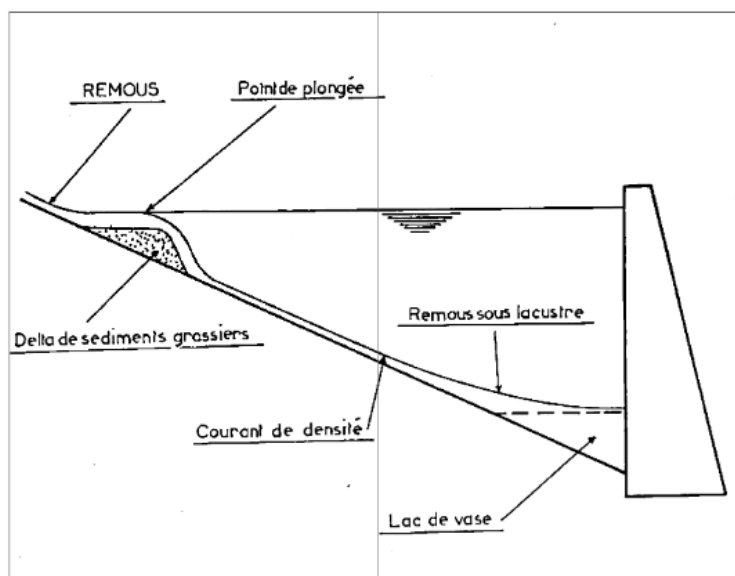


Figure I.8. Comportement des sédiments fins (CesareG, 1998).

9. Problèmes posés par l'envasement des barrages :

L'envasement pose d'énormes problèmes au barrage et à son environnement. C'est ainsi que les dépôts successifs de la boue réduisent la capacité utile des barrages. Le tassement et la consolidation de la boue bloquent les pertuis de vidange d'un barrage. Un barrage envasé destiné à l'irrigation, provoque l'envasement des canaux d'irrigation. Un barrage envasé affecte fortement la qualité des eaux et accélère le phénomène d'eutrophisation.

✓ Réduction de la capacité :

La vase chasse l'eau du barrage. Avec le temps, le barrage sera complètement occupé par la boue. Le barrage est considéré comme un corps étranger au cours d'eau, il perturbe l'écoulement des eaux et la dynamique sédimentaire. En déposant petit à petit la boue au fond d'un barrage, le cours d'eau tente de retrouver sa pente initiale.





Photo. I.5. Envasement du barrage d'Ighil Emda (Remini et Ouaret, 2004)

✓ **Blocage des vannes de fond :**

Les dépôts vaseux durant les premières années, les pertuis de vidange sont épargnées par l'envasement. Mais dès que le volume «mort» est atteint, les vannes seront menacées par les dépôts de vase. Avec les manœuvres de vannes, un cône de vase sera dégagé près des ouvertures. Avec le temps les vannes finiront par se colmater et devient difficile toute manœuvres des vannes.

Dans les régions arides, la gestion des vannes d'un barrage est complexe.

L'ouverture des vannes en période de crues devient indispensable pour prolonger la durée de vie de l'ouvrage et évitera le dysfonctionnement de ces vannes (fig. 1.6).



Photo.I.6. Blocage des vannes de fond (Remini, 2011)

✓ **Envasement des canaux d'irrigation :**

L'irrigation des terres agricoles par les eaux troubles en provenance de barrages envasés pose d'énormes problèmes pour les agriculteurs. Plusieurs kilomètres de canaux, les bassins et les siphons se trouvent envasés après chaque opération d'irrigation. Ce qui oblige les agriculteurs à effectuer périodiquement des opérations de curage par des moyens mécaniques. (Photo. 1.7)



Photo. I.7. Curage d'un canal par les moyens mécaniques (OPIM, 2008).

CHAPITRE I : EROSION TRANSPORT SOLIDE ET ENVASEMENT

✓ Impact de l'envasement sur la qualité de l'eau du barrage :

Il n'y a pas une relation directe entre la vase et l'eau, mais la présence d'une quantité importante de vase dans un barrage accélère l'eutrophisation des eaux du lac du barrage.



Photo. I.8. Couleur verdâtre de l'eau du barrage de SMBA (Remini, 2011)

10. Méthodes de détermination de l'envasement :

En dehors de l'estimation globale du débit solide, le contrôle du mécanisme d'envasement des retenus permet la surveillance des ouvrages et la détermination des mesures de protections à prendre.

10.1. Comment évaluer le volume de l'envasement ?

L'accumulation des sédiments véhiculés par les eaux pluviales et venants se déposer dans la cuvette des barrages, constitue une préoccupation essentielle pour les méthodes d'évaluation du volume des vases. On distingue deux méthodes de mesure (Neto, 2007).

10.1.1 Bathymétrie par nivellement : (Proulhal et Kerlann 2006)

Cette méthode présente l'avantage de tenir compte de toute la hauteur de sédiments et est intéressante à mettre en œuvre dans les projets où le toit du substrat n'est pas connu. Il ya plusieurs méthodes utilisées pour le levé bathymétrique par nivellement, dont on cite quelques exemples :

a. La première méthode de bathymétrie par nivellement est réalisée à l'aide d'un instrument de mesure gradué, à partir du bord et préférentiellement à partir d'une embarcation si les conditions le permettent (figure 1.9). Elle permet soit de mesurer simplement la hauteur totale de vases par enfoncement, soit de mesurer la hauteur d'eau avant et après les travaux.

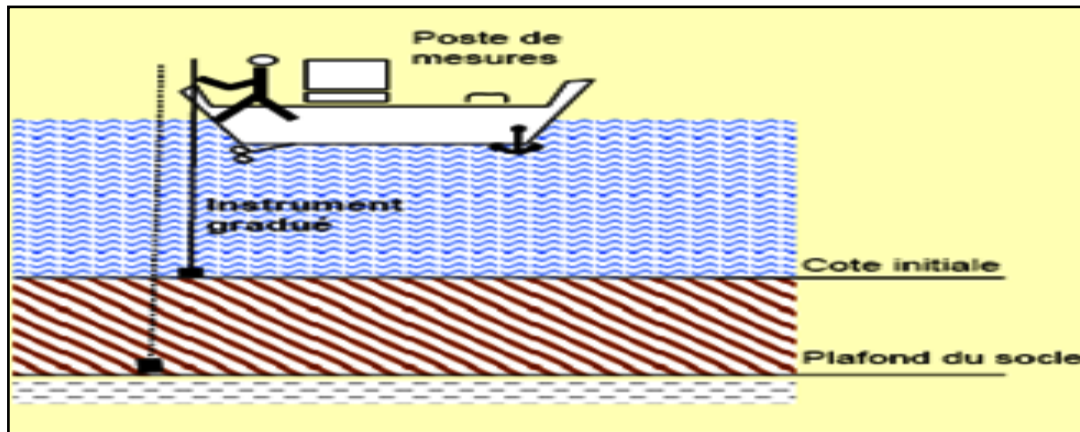


Figure. I.9.schématisation de la bathymétrie par nivellement (Proulhac et Lann 2006)

b. la seconde méthode de nivellement se fait à l'aide d'une mire sur une embarcation et D'une lunette de visée ou d'un tachéomètre (lunette de visée laser), la hauteur d'eau, le niveau supérieur de la couche de vase et le fond dur sont obtenus (photo.I.9). Le relèvement s'effectue point par point selon un profil transversal au cours d'eau. Le nombre de points sera forcément fonction de la largeur du cours d'eau. La carte globale se fait alors par extrapolation des profils transversaux. Le nivellement n'est généralement pas précis et admet une erreur de 20 %. Le volume de sédiment se fait ensuite par extrapolation entre deux profils.

$$V = S \times L \quad (I,15)$$

V : volume de sédiments en mètres cubes.

S : section envasée en mètres carrés.

L : distance entre deux points de mesure en mètre.



Photo. I.9. Estimation de l'envasement par la méthode de nivellement (Tachéomètre).
(Proulhac et Lann 2006).

10.1.2 Bathymétrie par sondeurs «Echosondeur bathymétrique» :

Le dernier appareil à mesurer la profondeur par échosondeur, une véritable révolution dans la mesure de l'eau profonde. Les mesures bathymétriques permettent de suivre l'évolution du volume des sédiments accumulés.

Bathymétrie par sondeurs (Figure1.12) Le volume des sédiments est calculé par informatique avec, comme hypothèse de départ, la cote du projet à atteindre.

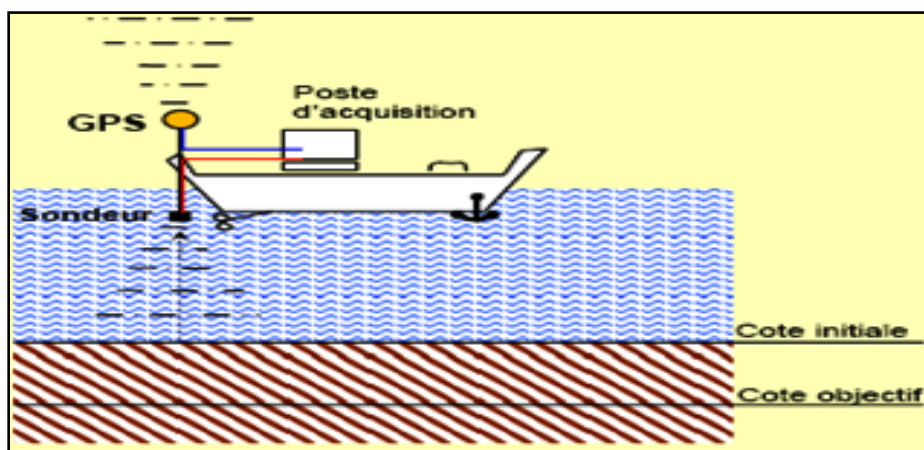


Figure .I.10. Schématisation de la bathymétrie par échosondeur (Proulhac et Lann 2006).

11. Envasement en l'Algérie :

Près de 2000 t/km²/an de sédiments sont arrachés des bassins versants de l'Atlas Tellien et que 120 millions de tonnes de sédiments sont rejetées annuellement à la mer. L'envasement des barrages est la conséquence de cette érosion, il représente 11.2 % de la capacité initiale des barrages recensés en Algérie. Trois barrages (Foum El Gherza, Biskra et El Guers) ont plus de 50% de vase. Le taux d'envasement est supérieur à 50 % en zones arides et 30-40% en zones telliennes. L'envasement annuel moyen est évalué en 2002, à 34 millions de m³/an. (Rapporte français sur l'Algérie- site web).

Dans le tableau 1.3, nous donnons une idée sur la situation de nos barrages de point de vu capacité suivant certaines périodes d'exploitation.

Tableau I.3. Statistiques sur la sédimentation des barrages algériens(ANBT)

barrage	wilaya	Année De mise en service	oued	Surface de bassin Versant Km ²	Capacité Initiale Hm ³	Capacité de levé 2003 Hm ³	Perte de capacité	
							Hm ³	En %
Beni-Bahdel	Tlemcen	1946	Tafna	1016	63	54.63	8.37	13.29
Mefrouch	Tlemcen	1962	Nachef	90	15	14.99	0.01	0.05
Sidi-Abdelli	Tlemcen	1990	Isser	1140	110	106.61	3.39	3.08
Samo	Sidi Bel Abbes	1955	Sarno	264	22	21.25	0.75	3.41
Bouhanifia	Mascara	1948	Elhammam	7854	73	38.11	34.89	47.79
Fergoug	Mascara	1970	Elhammam + O/Fergoug	8430	18	3.64	14.36	79.78

12. Méthodes de lutte contre l'érosion et le transport solide :

L'érosion accélérée et le dépôt des sédiments posent souvent de sérieux problèmes et sont la cause des modifications de l'environnement dans le bassin versant. Le couvert végétal détruit, les sols sont emportés, la fertilité des zones agricoles est endommagée. Du fait que l'érosion

CHAPITRE I : EROSION TRANSPORT SOLIDE ET ENVASEMENT

des Sols est étroitement corrélée avec le ruissellement, la maîtrise de ce dernier est particulièrement importante. (Kassoul 1991)

Les méthodes de lutte contre l'érosion et la sédimentation reposent sur l'étude de leur nature et leur évolution ; afin de prévoir des dispositifs adéquats, dont le but est de réduire ou d'éliminer les effets négatifs des processus observés, ces dispositifs nécessitent des interventions, dans les interfluves au sein même du cours d'eau.

12.1. Les interfluves :

Les moyens de lutte contre l'érosion dans les interfluves peuvent être classés dans les catégories suivantes (UNESCO, 1989)

- Procédés agro-techniques.
- Restaurations des forêts.
- Procédés hydrotechniques

- **Procédés agro- techniques :**

Les méthodes agro-techniques spécialisées de protection contre l'érosion consistent surtout en procédés de cultures appropriées pour retenir l'eau. On parvient à une bonne rétention en travaillant les sols selon les courbes de niveaux ou en utilisant des techniques entraînant une perturbation minimum des sols. Le travail selon les courbes de niveaux est réservé aux pentes douces est aux régions de pluies modérées. Sur les terrains pentus et dans les régions où il peut se produire de fortes crues brutales, l'eau de ruissellement peut être retenue par des cultures en bandes associées à des travaux de terrassements.

- **Restauration des forêts :**

Lorsque la reforestation est possible, c'est un moyen efficace de conservation des sols. Les différents types de plantation ci-après sont particulièrement importants (UNESCO, 1989),

- Ceintures forestières sur les terres agricoles pour régulariser le ruissellement, améliorer l'infiltration et protéger de l'érosion éolienne.
- Bandes de forêt et bouquets d'arbres à l'intérieur du réseau hydrographique le long des ravines pentus et des vallées soumises à une forte érosion.

Les ceintures forestières protègent les sols de différentes façons ; elles contribuent à la réduction de la vitesse du vent et améliorent le microclimat ; elles sont très efficaces lorsqu'elles sont plantées en lignes perpendiculaires au ruissellement, car l'écoulement sera

dispersé et l'infiltration favorisée. Cependant une mauvaise disposition des ceintures peut être la cause d'une intensification du ruissellement et de la formation des ravines.

- **Procédés hydrotechniques :**

Les procédés hydrotechniques de protection comportent certains types de structures et ne sont utilisés que si cela se justifie économiquement, ou si d'autres procédés se sont révélés inefficaces. Ces procédés comprennent les fossés d'infiltrations avec banquettes pour empêcher la formation des ravines, les barrages pour la rétention des sédiments ; des terrasses le long des courbes de niveaux, des ouvrages de retenue et de déversions au sommet des ravines, etc.

12.2. Les cours d'eau :

L'érosion, le transport et dépôts sont des phénomènes naturels permanents dans les cours d'eau. L'érosion du réseau hydrographique est souvent la cause de difficultés et de pertes financières. Il n'y a pas de méthode universelle et l'on doit en tenir compte de nombreux facteurs, notamment du prix et de la disponibilité sur place des matériaux de construction ainsi des risques encourus. Ci-après un bref résumé des méthodes disponibles :

- **Revêtement des berges :**

Le mode de protection des berges le plus courant est la mise en place d'un revêtement de protection fait d'un matériau résistant à l'érosion (les enrochements, le béton, etc...) et déposés directement sur le talus de la berge.

- **Freinage de l'écoulement :**

On peut obtenir un freinage de l'écoulement en mettant en place des structures perméables parallèlement à la base des berges. La diminution de la vitesse réduit les risques d'érosion et facilite, lorsque les conditions sont favorables, le dépôt des sédiments et la croissance de la végétation le long des berges.

- **Guidage de l'écoulement :**

Jetée, épis ou chicane sont souvent employés pour écarter les courants et les vagues des zones sensibles. La déflexion du courant modifie les processus de transport des sédiments et l'effet habituel est la formation de dépôts le long des berges menacées. On peut utiliser des structures perméables ou imperméables.

- **Aménagements hydrauliques :**

Les barrages modernes et d'autres ouvrages hydrauliques sont souvent de très grande taille, nécessitant la maîtrise de débits très élevés sous une forte charge. On doit mettre en place des dispositifs efficaces pour empêcher des affouillements indésirables du lit à l'aval de l'ouvrage, On utilise souvent :

- ❖ Bassins de tranquillisation
- ❖ Sauts de ski.
- ❖ Correction torrentielle

13. Méthode de lutte contre l'envasement des retenues :

Les ouvrages hydrauliques qui souffrent directement des conséquences de l'érosion et du transport solide (envasement ou sédimentation) voient leurs capacités diminuées sous l'effet de ces phénomènes. Nous ne pouvons donc nous abstenir sur l'énumération des moyens de lutte contre l'envasement des barrages. Ces moyens de luttent peuvent être classés en deux genres : les moyens préventifs et les moyens curatifs :

13.1. Moyens préventifs :

Ils regroupent tous les moyens de lutte contre l'érosion et le transport solide cité en haut à qui s'ajoutent les méthodes d'évacuation des matériaux solides et les vidanges de fonds

- **La chasse par vidange :**

La vidange d'une retenue est une méthode fréquemment employée pour freiner la sédimentation ou pour encourager une érosion des sédiments afin de récupérer du volume.

- **évacuation des courants de densité :**

L'évacuation des courants de densité est considérée depuis longtemps comme une méthode efficace pour diminuer le taux d'envasement d'une retenue.

- **Vidange de fond :**

Dans chaque retenue menacée par le problème de la sédimentation, il est souhaitable lors de la conception du barrage d'envisager une évacuation des matériaux solides par des vidanges de fond.

- Les vidanges de fond peuvent être utilisées pour évacuer une crue, ou pour vidanger une retenue dans des cas d'urgence où une vidange très rapide est nécessaire.
- Les vidanges de fond peuvent également servir à chasser des sédiments, en abaissant le niveau d'eau afin de chasser des dépôts de limon, de sable et de graviers, qui sont

CHAPITRE I : EROSION TRANSPORT SOLIDE ET ENVASEMENT

donc érodés par la force tractrice de l'écoulement. D'une façon analogue, on peut évacuer des courants de densité de retenues servant au stockage.

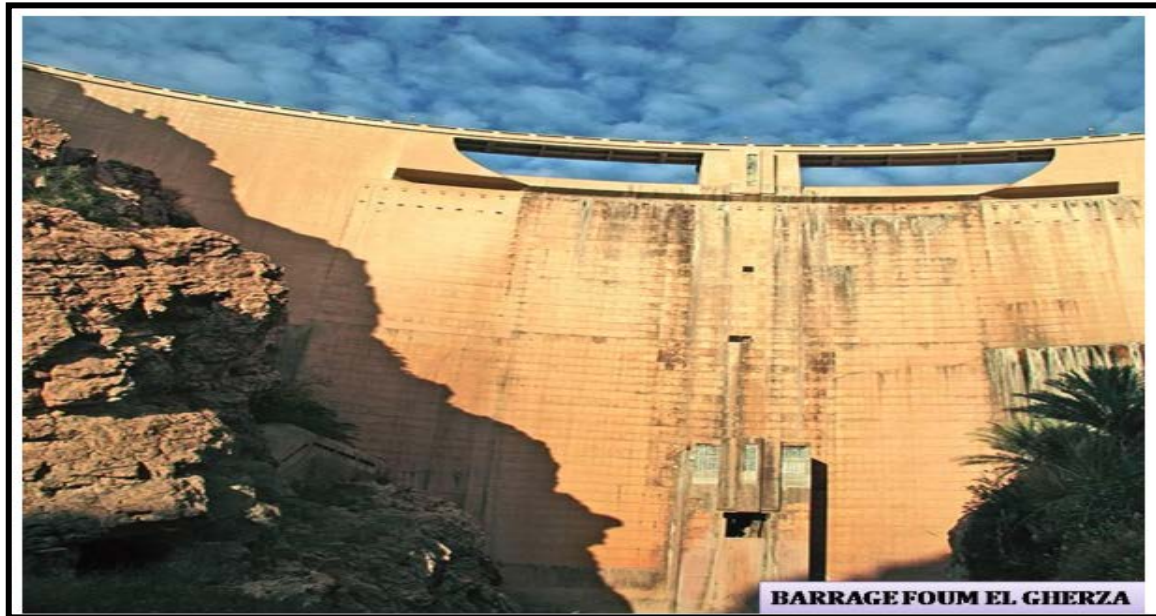


Photo. I. 10 .Vanne de fond du barrage (ANBT Biskra, 2006)

13.2. Moyens curatifs :

Le but de ces moyens est la récupération d'une partie de la capacité de la retenue comblé par les apports solides du bassin versant. Nous citerons :

- **La chasse des sédiments :**

On peut avoir recours à des vidanges totales périodiques dans des petites retenues qui perdraient leur capacité utile après quelques années d'exploitation. Puisqu'une grande partie de la capacité utile d'une petite retenue est située près du barrage, les sédiments peuvent être chassés par l'écoulement d'une crue, à condition que les vannes de vidanges restent ouvertes pendant un certain temps. Le lit ainsi creusé par ces chasses s'incorpore dans la capacité de la retenue. (Remini et al, 2003), (Remini et Hallouche, 2005), (unesco, 1986).

- **Le dragage :**

On a recours au dragage pour enlever les sédiments d'une retenue si :

- a) les opérations de chasse ne sont pas efficaces,
- b) la construction d'une galerie de dérivation est impossible,
- c) l'abaissement de la retenue pour la chasse est impossible pour des raisons de

CHAPITRE I : EROSION TRANSPORT SOLIDE ET ENVASEMENT

Conservation de l'eau,

- d) le barrage est irremplaçable et ne peut être surélevé,
- e) la quantité d'énergie requise pour réduire l'envasement en vidangeant la retenue représente une trop grande perte économique.



Photo I.11. La drague est au centre de la retenue du barrage (ANBT Biskra, 2006)

- **L'extraction par siphonage :**

Les siphons évacuateurs sont également employés pour extraire des sédiments de retenues. Ils diffèrent du dragage par aspiration en ce qu'ils utilisent la différence de cote à l'amont et à l'aval du barrage comme source d'énergie motrice.

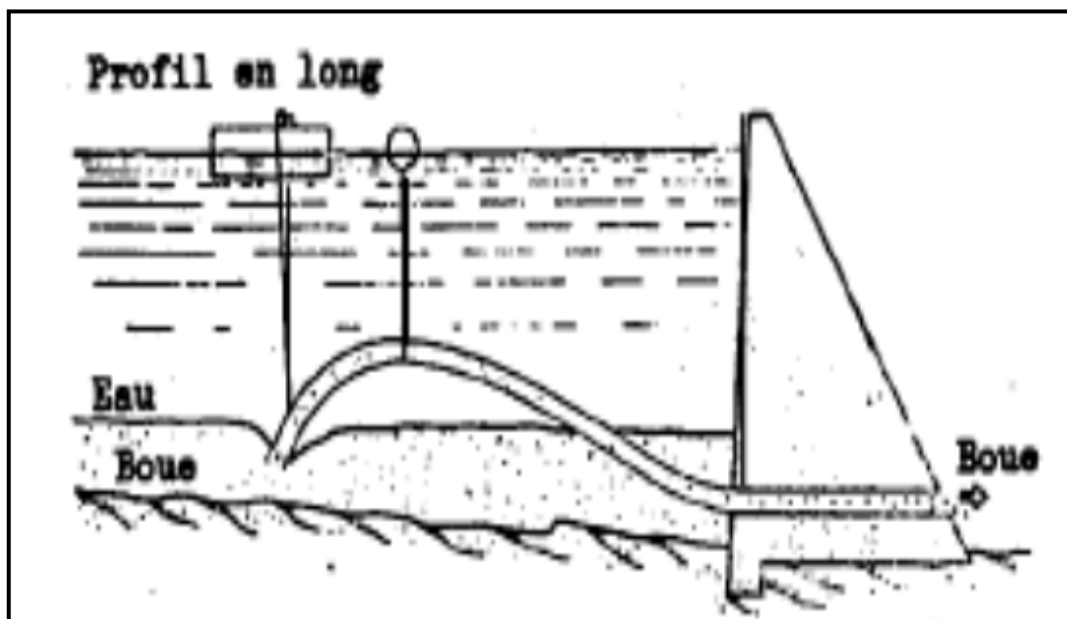


Figure I.11. Schéma de l'installation du siphon évacuateur (UNESCO, 1986)

CHAPITRE II
PRESENTATION DU BASSIN
VERSANT D'OUED ISSER

1. Situation géographique :

Le bassin versant (BV) l'oued Isser se situe au nord-ouest algérien, entre les longitudes $1^{\circ} 20' 31''$ W et $0^{\circ} 52' 28''$ W et les latitudes $34^{\circ} 41' 22''$ N et $35^{\circ} 9' 37''$ N. (figure II.1). Il s'étend sur une superficie de 1139 km^2 pour un périmètre de 209 km .

La limite aval du bassin coïncide avec le barrage El Izdihar de Sidi Abdelli d'une capacité de 110 Hm^3 . L'oued Isser, prend sa source au niveau d'Aïn Isser au Sud d'Ouled Mimoun. Sa confluence avec l'oued Tafna a lieu dans la plaine de Remchi.

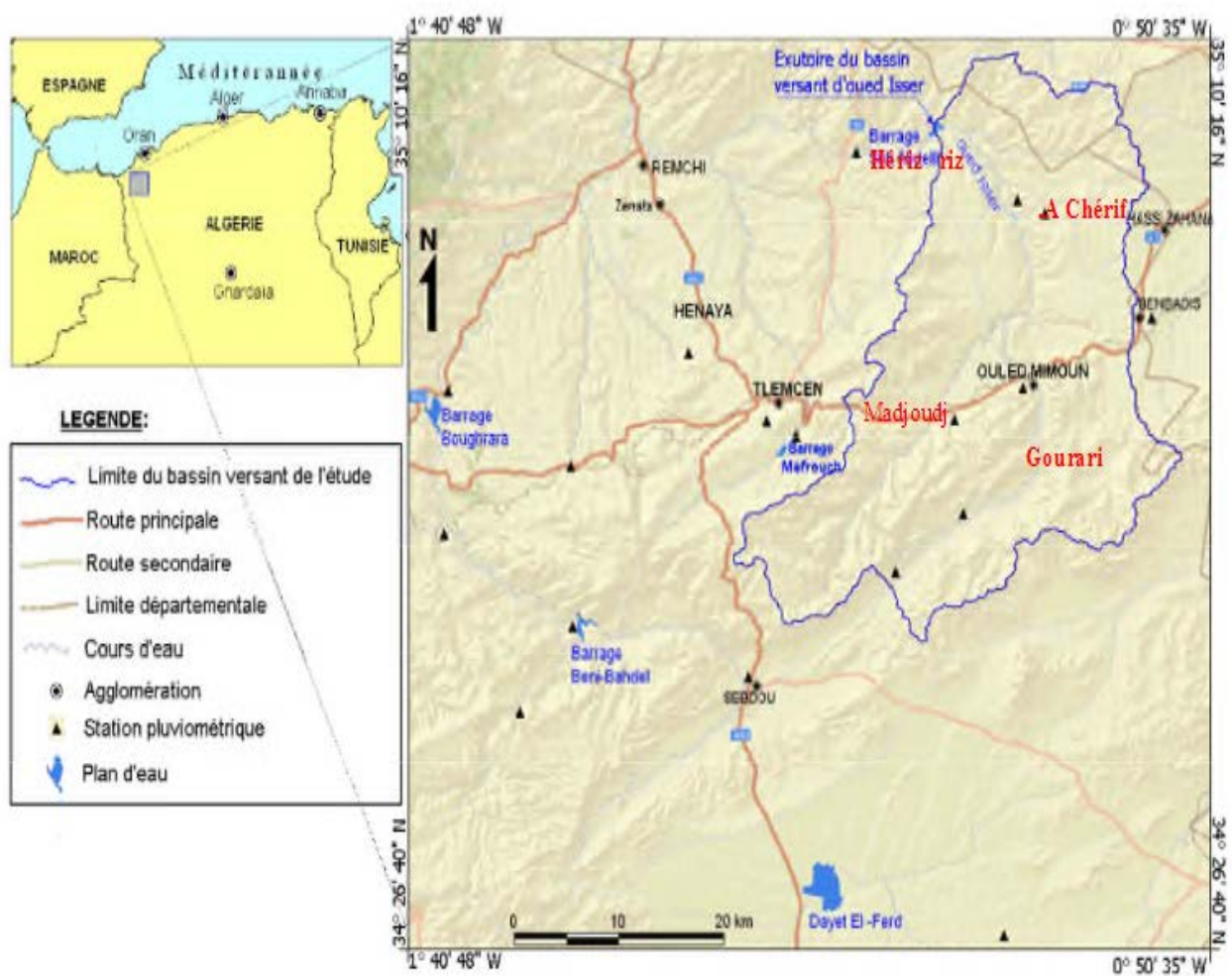


Figure II.1. Situation du bassin versant d'oued Isser (Boughalem, 2013).

2. Caractéristiques morphométriques :

La morphométrie des bassins versants est le principal facteur qui commande le degré des ruissellements et la gravité des crues à côté bien sûr de sa couverture végétale. Un bassin allongé ne réagit pas de la même manière qu'un bassin ramassé, aussi un profil en pente du talweg principal du bassin n'a pas la même réaction qu'un autre de plaine.

Pour caractériser notre bassin d'étude nous avons regroupé tous les paramètres morphométriques (Tableau II.5).

Les caractéristiques morphométriques sont expliquées par deux paramètres : la forme et le relief.

2.1. Forme du bassin :

- **indice de compacité « kc » (indice de Gravelius) :**

Différents indices de forme sont proposés pour comparer les bassins versants et estimer certaines de leurs caractéristiques hydrologiques. L'indice auquel il est le plus généralement fait référence est l'indice de compacité, dit de Gravelius.

Ce coefficient est le rapport entre le périmètre du bassin et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin.

$$K_c = P / 2 \sqrt{A} \text{ Avec } A = \pi R^2 \quad (\text{II, 1})$$

Sachant que P est le périmètre et A la surface du bassin.

Ce coefficient est donné finalement par la relation suivante.

$$K_c = 0.28P / \sqrt{A} \quad (\text{II, 2})$$

Ce coefficient est égal à 1 lorsque le bassin est parfaitement circulaire car le cercle est l'élément le plus compact.

Cette valeur croîtra au fur et à mesure que la compacité du système diminue et peut aller à 1,1128 dans le cas d'un bassin carré, puis la valeur 3 pour les bassins très allongés.

Pour le bassin de l'oued Isser l'indice de compacité est de : $K_c=1.75$. Cette valeur indique que le bassin est de forme allongée, ce qui traduit un temps de parcourt assez long favorisant une érosion linéaire et régressive.

- **rectangle équivalent :**

La notion du rectangle équivalent appelée aussi rectangle de Gravelius est une transformation purement géométrique en vertu de laquelle on assimile le bassin à un rectangle ayant le même périmètre et la même superficie.

De cette façon, les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux petits côtés du rectangle, et l'exutoire est l'un de ces petits côtés.

En effet le rectangle équivalent permet de comparer les différents bassins versants entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

$$L = \frac{K_G \cdot \sqrt{A}}{1.12} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_G} \right)^2} \right] \quad (II, 3)$$

L : longueur du rectangle équivalent

I : largeur du rectangle équivalent

A : la surface égal à $L \times I$. (Km^2)

P : le périmètre = $2(L+I)$. (Km)

Ainsi, pour ce qui est du bassin versant d'oued Isser, la longueur équivalente L est de 91.86 Km et la largeur équivalente a été déduite : $I = A/L = 12.39$ Km

2.2. Étude du relief :

Le relief est un facteur essentiel, il détermine en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains, l'infiltration et l'évaporation. C'est un élément capital dans le comportement hydrologique d'un bassin.

La plus part des facteurs météorologiques (précipitations, températures) et hydrologiques sont fonctions de l'altitude.

La courbe hypsométrique fournit une vue synthétique de la pente du bassin, donc du relief.

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT D'OUED ISSER

Cette courbe représente la répartition de la surface du bassin versant en fonction de son altitude. Elle détermine l'état du bassin vis-à-vis de son potentiel érosif ; et le reflet de l'état d'équilibre dynamique potentiel du bassin d'après Strahler in Llamas (1993).

2.2.1. Répartition altimétrique :

Elle est obtenue (tableau II.1) à partir de la planimétrie des superficies partielles situées entre deux courbes de niveaux voisines (figure II.2).

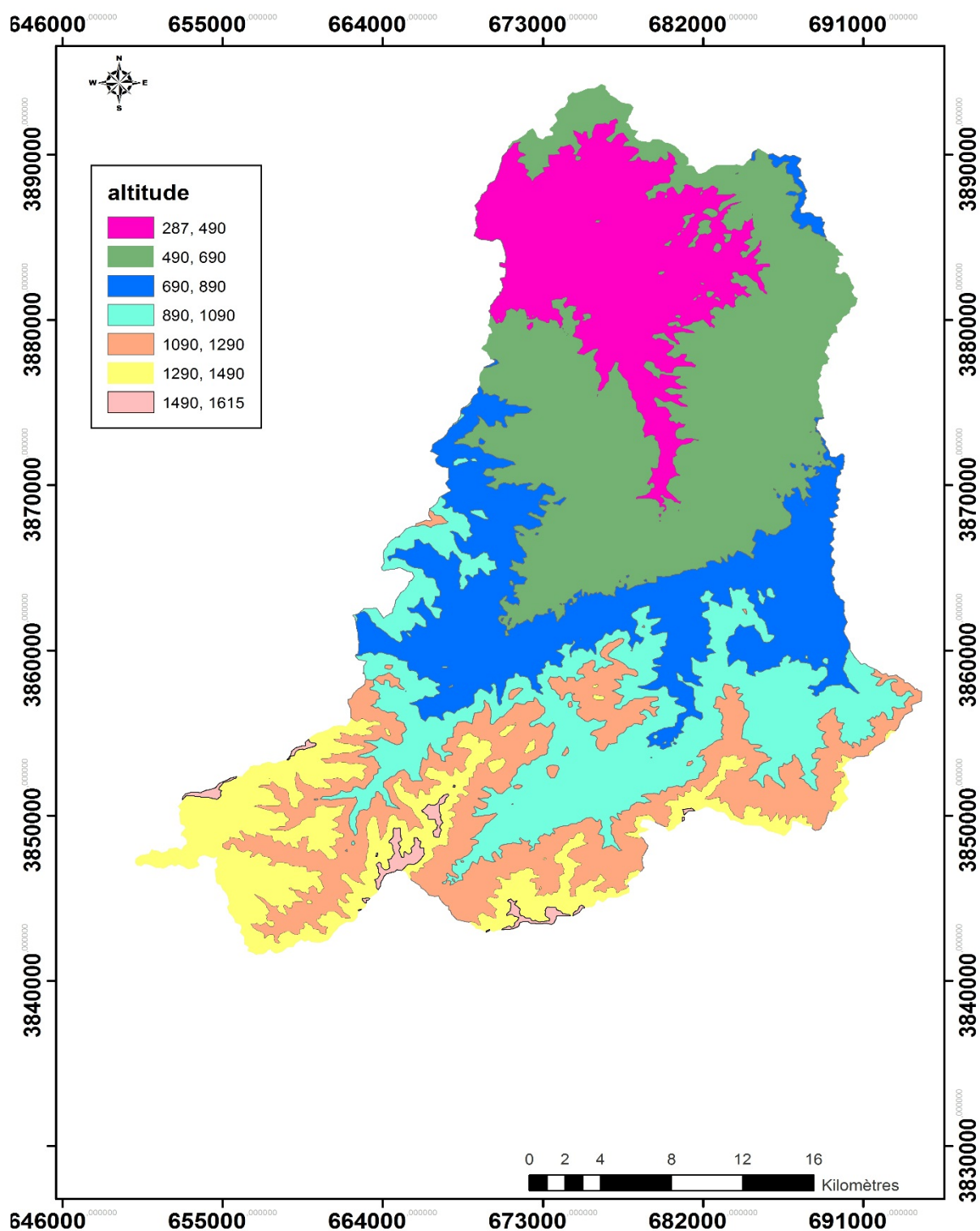


Figure.II.2.carte hypsométrique d'oued Isser.

Tableau II.1 : Répartition altimétrique du bassin versant d'oued Isser.

Altitudes (m)	Surfaces Partielles (km ²)	Surfaces Partielles en %	Surfaces partielles cumulées en %	Altitudes cumulées en %
1490-1615	7,63	0,67	100	9,41
1290-1490	113,28	9,95	90,05	24,47
1090-1290	168,42	14,8	75,26	39,53
890-1090	186,87	16,41	58,85	54,59
690-890	189,73	16,66	42,18	69,65
490-690	311,97	27,4	14,78	84,71
287-490	160,7	14,11	0,67	100

2.2.2. Courbe hypsométrique :

La courbe s'obtient en portant en abscisse les surfaces cumulées et en ordonnées les altitudes correspondantes (figure II.3) :

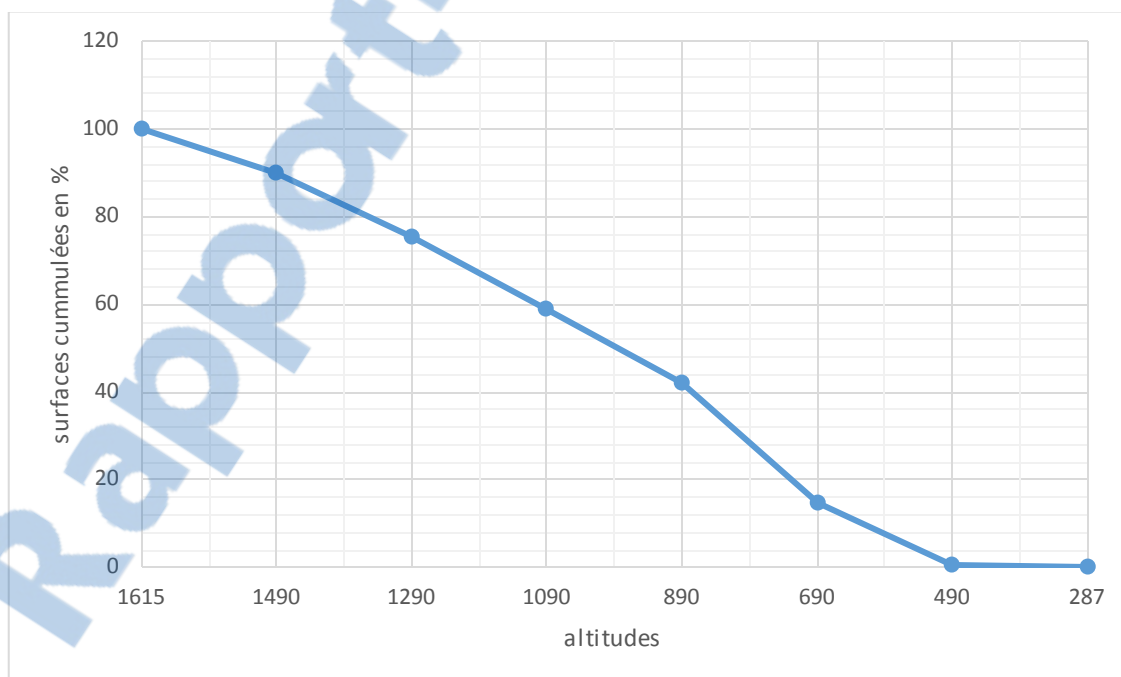


Figure II.3. Courbe hypsométrique du bassin versant d'Isser.

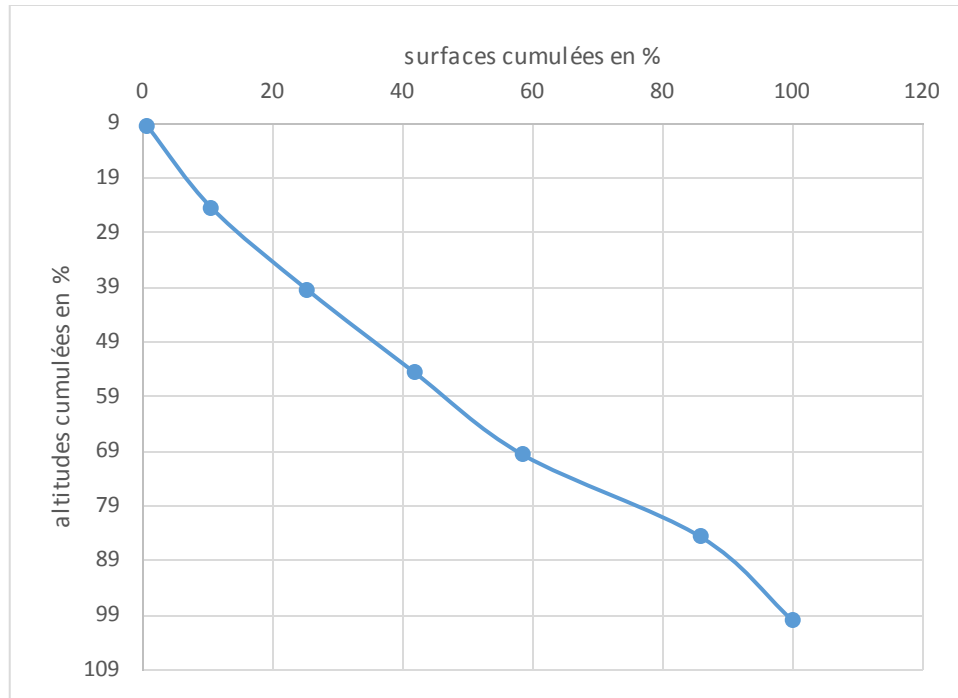


Figure. II.4. Courbe représentative de l'état du bassin versant de l'oued Isser.

La courbe hypsométrique (tableau. II.1 et fig. II.4), indique l'état d'équilibre du bassin de l'Isser. Le potentiel érosif est donc plutôt moyen.

2.3 . Etude de la pente :

La pente joue un rôle important en hydrologie, car elle influe directement sur l'infiltration et le ruissellement. Certains auteurs ont établi des fonctions de puissance entre le gradient de pente et l'érosion en nappe (Govers, 1991).

La Figure II.4 montre la répartition des pentes du bassin versant d'oued Isser. La pente minimale est de 0°, la pente maximale est de 55.24° alors que la pente moyenne est de 9.17°.

2.3.1. Indice de pente de Roche (Ip) :

L'indice de pente I_p également défini par Roche à partir du rectangle équivalent est égal à :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \cdot \sum x_i \cdot \sqrt{\beta_i \cdot [a_i - a_{i-1}]} \quad (\text{II, 4})$$

β_i : Fraction de la surface totale du bassin comprise entre les côtes a_i et a_{i-1} ; fonction donnée par le tableau hypsométrique.

x_i : Distance séparant deux courbes de niveau sur le rectangle équivalent.

L : longueur du rectangle équivalent.

2.3.2. Indice de pente globale (Ig) :

Le relief joue un rôle important, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension peut être faite à l'aide de l'indice de pente global Ig donné par la relation :

$$Ig = D / L \quad (II, 5)$$

Où :

D : dénivelée (m).

L = Longueur du rectangle équivalent.

Sur la courbe hypsométrique déjà tracée, on prend les points tels que la surface supérieure ou inférieure soit égale à 5% de la surface totale.

$H_{5\%}$ et $H_{95\%}$ Sont les altitudes entre lesquelles s'inscrivent 90% de la surface du bassin. La dénivelée D est donc égale à $H_{5\%} - H_{95\%}$.

L'indice de pente globale (Ig) sert aussi à classer le relief (tableau II.2) d'après une classification de l'ORSTOM (Laborde, 2000), qui peut être appliquée à tout bassin quelle que soit sa superficie.

Tableau II.2: Classification du relief (Ig) selon l'IRD.

Relief	Valeur d'Ig
Relief très faible	$Ig < 0.002 \text{ m/km}$
Relief faible	$0.002 < Ig < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < Ig < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < Ig < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < Ig < 0.05$
Relief fort	$0.05 < Ig < 0.5$
Relief très fort	$0.5 \text{ m/km} < Ig$

2.3.3. Dénivelée spécifique DS :

La dénivelée spécifique apparaît comme une correction de la dénivelée simple par application d'un coefficient qui dépend de la forme du bassin, ce qui donne la possibilité de comparaison entre ses valeurs pour différents bassins (Tableau II.3).

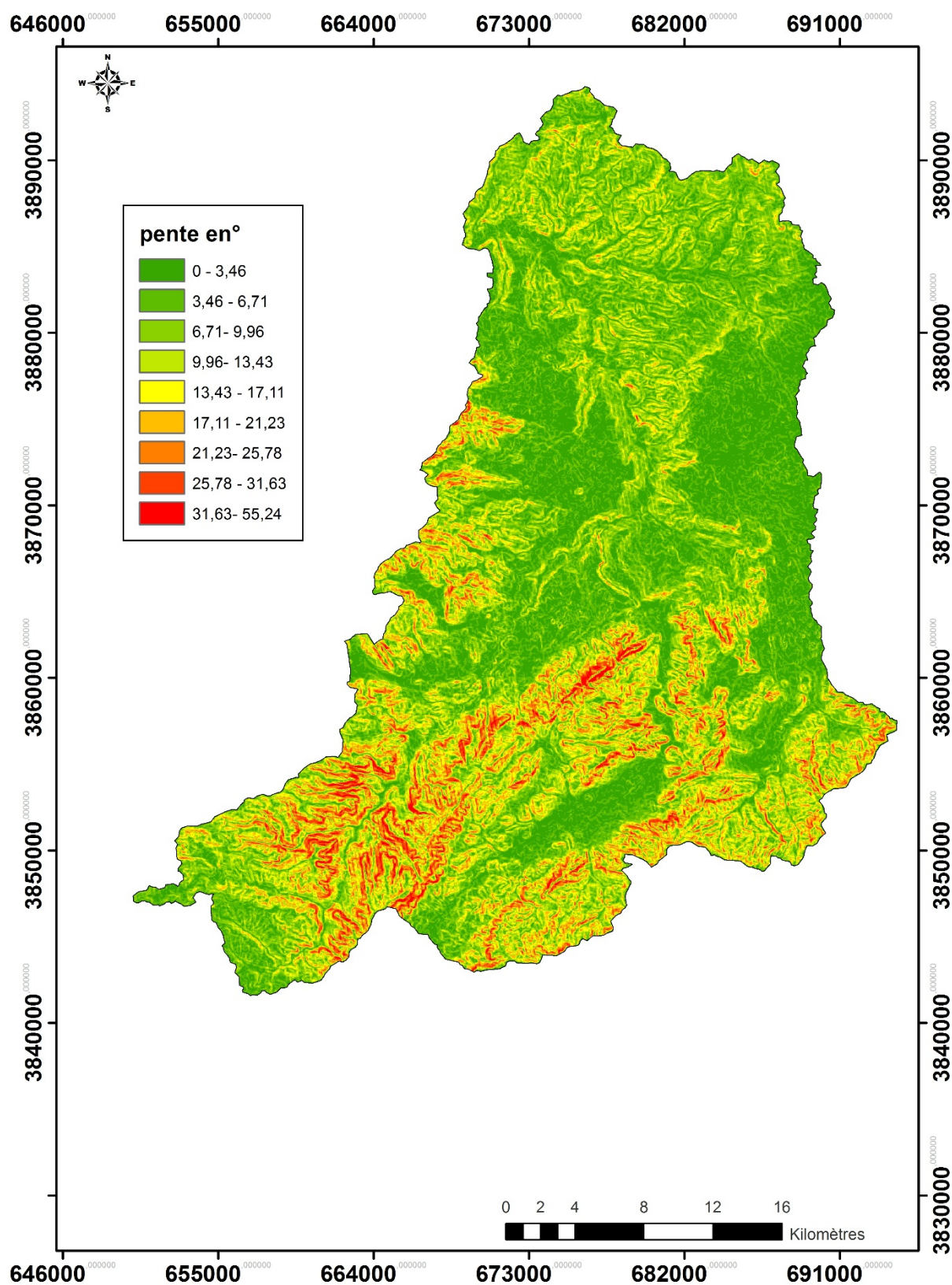
$$Ds = Ig. \sqrt{A} \quad (II, 6)$$

Ig = indice de pente globale (m/Km).

A = Aire du bassin (Km²).

Tableau II.3. Classification du Relief en fonction de Ds selon IRD

Relief très faible	Ds < 10
Relief faible	10 m < Ds < 25 m
Relief assez faible	24 m < Ds < 50 m
Relief modéré	50 m < Ds < 100 m
Relief assez fort	100 m < Ds < 250m
Relief fort	250 m < Ds < 500 m
Relief très fort	500 m < Ds



FigureII.5. Carte des pentes du bassin versant d'oued Isser

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT D'OUED ISSER

D'après la carte des pentes que nous avons établie (Figure II.4), on peut conclure que les plus grandes valeurs de pente se situent au niveau de l'amont du bassin versant (ruissellement fort impliquant une forte érosion), alors qu'à la partie aval les valeurs de pente sont très faibles (ruissellement faible impliquant une faible érosion).

2.4. Système hydrographique :

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques. Le chevelu hydrographique suit pratiquement les accidents importants qui ont affecté les formations lithologiques et se modifie selon l'évolution tectonique (Bouanani, 2004, Daoudi, 2008)).

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Isser (figure II.5) est composé d'un oued principal (Oued Isser) et d'une série de tributaires : Oued Chouly, Oued Mimoun et Oued Bouhadi).

L'analyse hydrographique selon la classification de Strahler montre que le réseau du bassin d'oued Isser est d'ordre 5 (Tableau II.4.).

Tableau II.4. Paramètres du réseau hydrographique du bassin d'oued Isser.

ordre	nombre	longueur (km)	longueur moyenne (km)
1	605	619,1	1,02
2	144	317,36	2,20
3	43	188,46	4,38
4	7	117,97	16,85
5	1	31,63	31,63

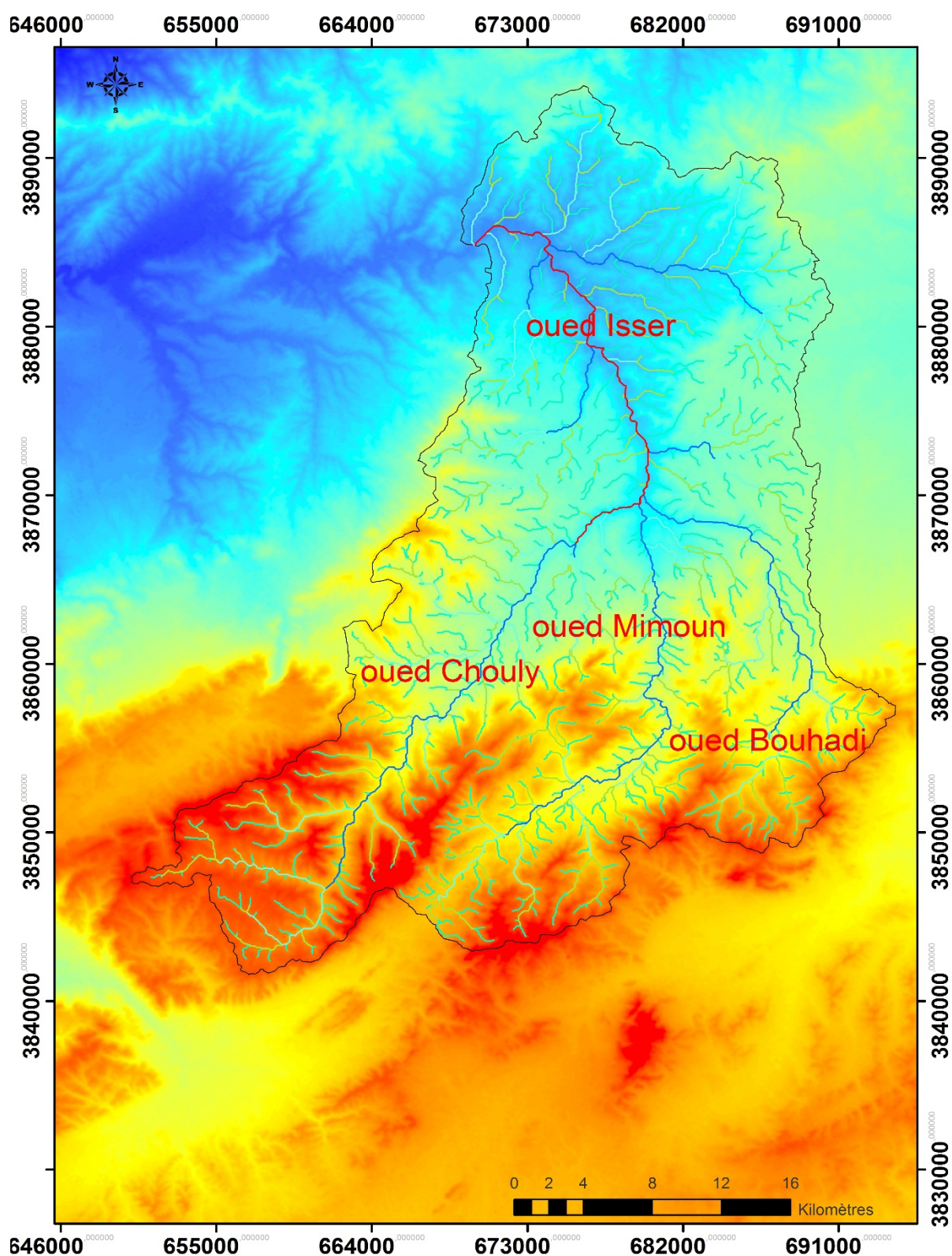


Figure.II.6. : Réseau hydrographique du bassin d'oued Isser.

2.4.1. La densité de drainage Dd :

La densité de drainage est définie par :

$$Dd = \sum L / A \quad (II, 7)$$

Dd : densité de drainage en km/km²

L : longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km.

A : aire du bassin en km².

2.4.2. Coefficient de torrentialité :

C'est un coefficient qui tient compte à la fois de la densité des thalwegs élémentaires par la densité de drainage :

$$C_T = Dd.F_1 \quad (II, 8)$$

Avec :

Dd : densité de drainage.

F_1 : Fréquence des thalwegs élémentaires.

$F_1 = N_1/A$ avec N_1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1.

2.4.3. Temps de concentration :

C'est le temps que met une particule d'eau provenant de la partie du bassin la plus éloignée pour parvenir à l'exutoire. Pour son calcul, nous faisons appel à la formule de Giandotti donnée par :

$$T_c = (4.\sqrt{A} + 1.5.L) / 0.8.(H_{moy} - H_{min})^{1/2} \quad (II, 9)$$

Où,

T_c : temps de concentration (heures).

A : superficie du bassin (km²).

L : longueur du thalweg principal (km).

H_{moy} : altitude moyenne (m).

H_{min} : altitude minimale (m).

2.4.4. Le rapport de confluence Rc :

Le R_c , c'est le quotient du nombre de talwegs d'ordre i par celui des talwegs d'ordre supérieur (i+1). Il est défini par :

$$R_c = N_n / N_{(n+1)} \quad (II, 10)$$

Où,

Rc : rapport de confluence.

Nn : nombre de cours d'eau d'ordre n.

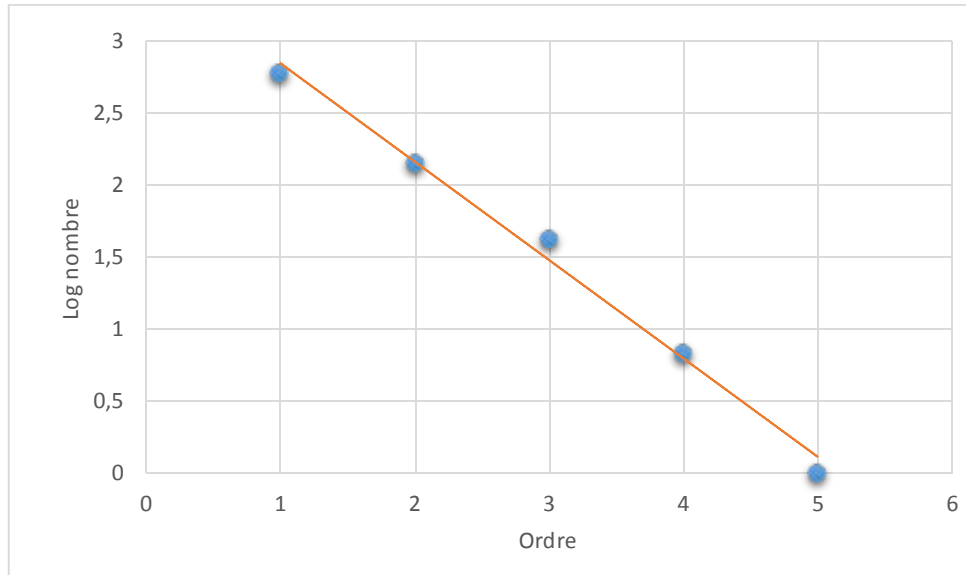


Figure II.7. Droite représentative du nombre de talwegs en fonction de l'ordre.

Le rapport Rc qui est la pente $a = 0.65$.

$Rc = \log^{-1} a = 4.46$.

2.4.5. Rapport des longueurs :

La définition est la suivante :

$$RL = L_{(N+1)} / L_N \quad (II, 11)$$

L_N : longueur moyenne du cours d'eau d'ordre n.

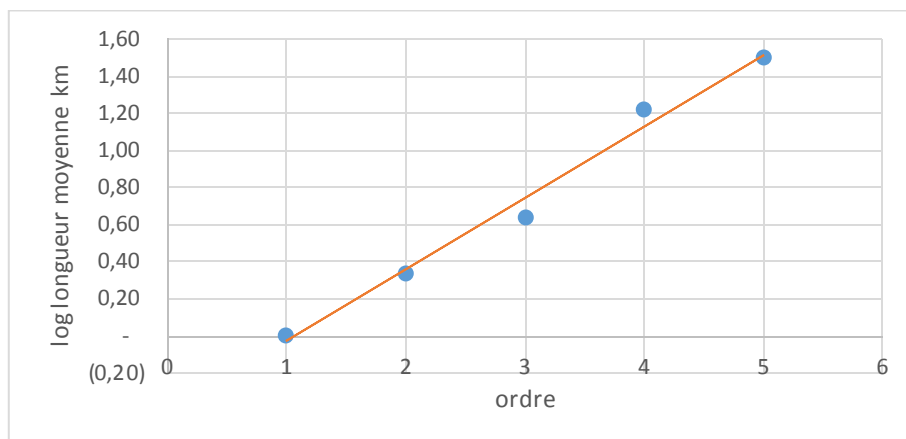


Figure II.8. Droite représentative des longueurs en fonction de l'ordre.

CHAPITRE II : PRÉSENTATION DU BASSIN VERSANT D'OUED ISSER

Le rapport R_L qui est la pente $a = 0.45$.

$$R_L = \log^{-1} a = 2.81.$$

Dans le tableau II.6, nous consignons l'ensemble des paramètres morphométriques du bassin de l'oued Isser.

Tableau II.5. Paramètres morphométriques du bassin versant d'oued Isser.

Paramètres physiques	Symboles	Unité	Valeurs
Superficie	S	Km^2	1139
Périmètre	P	Km	209
Indice de compacité	Kc	/	1.73
Densité de drainage	Dd	Km^{-1}	1.12
Altitude maximale	Hmin	M	287
Altitude minimale	Hmax	M	1615
Altitude moyenne	Hmoy	M	838
Indice de pente	Ip	%	0.011
Indice de pente global	Ig	%	0.11
Coefficient de torrentialité	Ct	/	1.50
Temps de concentration des eaux	Tc	h	13.69
Dénivelée spécifique	Ds	M	371.2
Rapport de confluence	Rc	/	4.46
Rapport des longueurs	RL	/	2.81

3. Géologie du bassin d'oued Isser :

Le type de formations géologiques qui affleurent dans le bassin versant a une influence sur la répartition des écoulements superficiels. En effet, un bassin formé de matériaux très perméables avec une couverture végétale continue aura en générale une densité de drainage faible assurant une meilleure infiltration des eaux superficielles. Par ailleurs, un bassin formé de roches imperméables mais meubles et érodables, comme des marnes et des argiles, avec

une végétation moyenne, présente souvent une densité de drainage élevée, ce qui favorise le ruissellement des eaux superficielles aux dépens de l'infiltration (Bouanani, 2004). D'après Demmak 1982, il y'a une relation étroite entre le type d'érosion, les transports des sédiments et la lithologie.

Le bassin versant de l'Isser est constitué de trois grands ensembles lithologiques :

3.1. Les formations du Quaternaire :

Elles sont souvent continentales et constituent une succession de terrasses et de glacis de pente plus ou moins encroûtées (calcaire).

Les alluvions récentes et sub-actuelles, se situent le long de l'oued Isser.

3.2. Les formations du Plio-quaternaire :

Elles sont représentées par des sédiments continentaux de type conglomératique.

3.3. Le Tertiaire :

Le Tertiaire est représenté par des dépôts essentiellement marins, à savoir le Miocène moyen (Helvétien) qui est composé par une épaisse série d'argiles marneuses grises ou bleutées. Au sein de cette masse s'intercalent des bancs de grès plus au moins épais.

Des formations marneuses avec intercalation gréseuses affleurent au nord et à l'est de la zone.

Il s'agit de marnes grises très fines avec des bancs de grès calcaires jaunâtres intercalés.

A l'Est sont localisés des alluvions sur terrasse du Pliocène. Dans la zone Nord, les versants sont constitués de substrats tendres (marne) avec intercalations gréseuses surtout dans la partie nord de Sidi Ahmed Chérif et occupent la plus grande partie du relief.

3.4. Le Jurassique :

L'étude de Mazour (1992) indique que sur toute la partie méridionale du bassin versant affleurent des calcaires et dolomies d'âge Jurassique qui s'étend dans la direction nord.

Dans le (tableau .II.6) sont regroupées les différentes formations lithologiques de la zone d'étude par rapport à la surface totale du bassin versant (Figure II.9).

CHAPITRE II : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT D'OUED ISSER

Tableau II.6. Formations lithologiques par rapport à la surface totale du bassin versant d'oued Isser (Mazour, 1992).

Formations lithologiques	Pourcentage %
Calcaires et dolomies	38
Marnes avec grès intercalés	21
Alluvions limoneuses et caillouteuses en terrasses	19
Grès siliceux, grès calcaires et autres formations	22

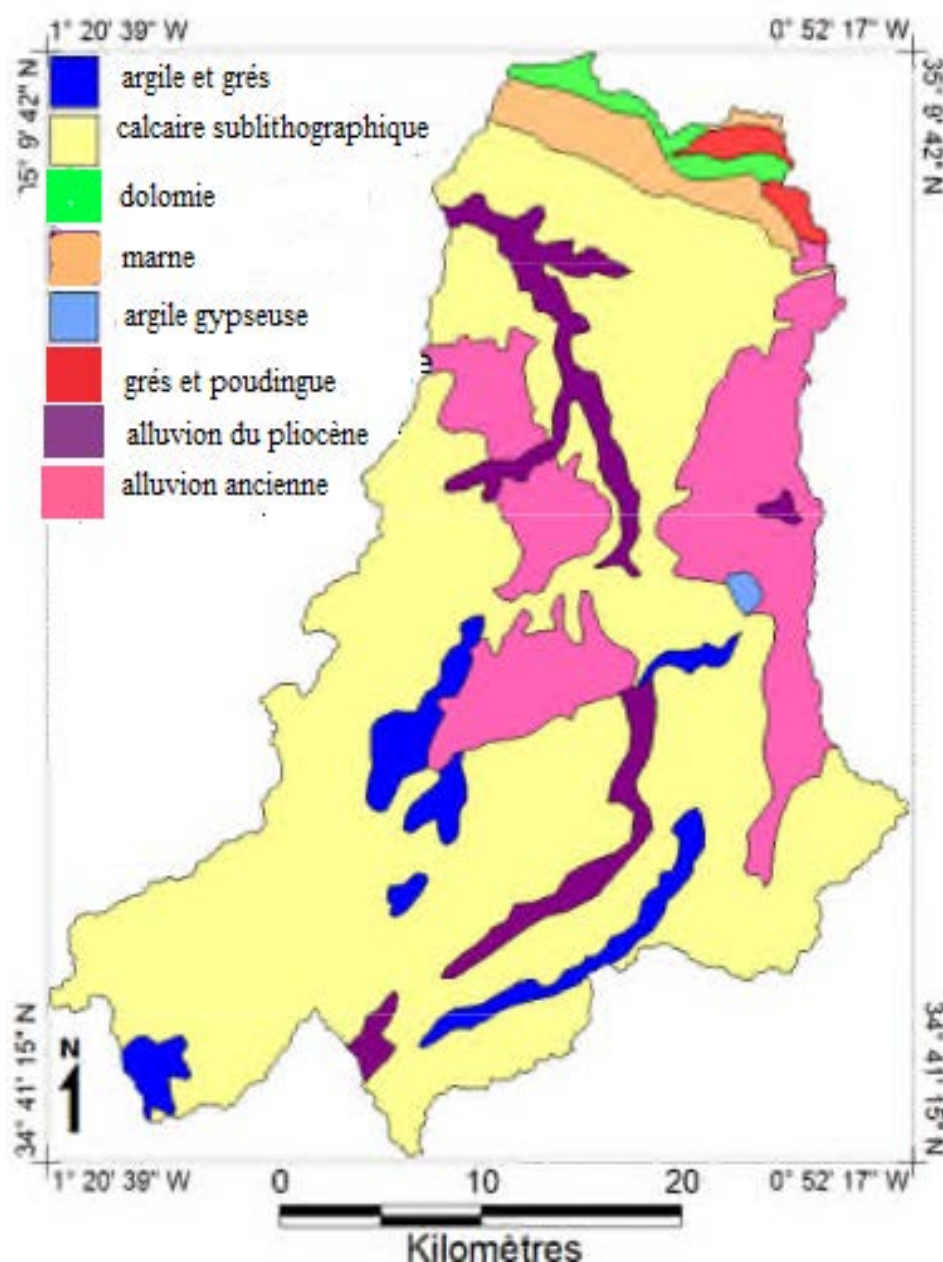


Figure II.9. Carte lithologique du bassin versant d'oued Isser (Boughalem, 2013 modifiée).

4. Occupation du sol :

De nombreuses études ont démontré l'influence déterminante du couvert végétal sur l'infiltration (Collinet et Laffrogue, 1979 ; Collinet et Valentin, 1979 ; Chevallier et Valentin, 1984 ; Pontanier et al ., 1986 ; Thebe, 1987 ; Albergel, 1987).

En effet le couvert végétal joue un rôle important dans le transport solides, l'humidité des sols, la réserve hydrique et le régime de l'eau.

Les travaux de Mazour (1992), sur les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'Isser, montrent que l'action du couvert végétal dépend de l'influence de certains facteurs tels que la pente et la géologie.

Dans (Tableau II.7) nous avons présenté la répartition des types d'occupation de sol dans le bassin de l'Isser par rapport à la surface totale (Figure II.10).

Tableau II. 7. Les surfaces des différents types d'occupations de sol du bassin versant d'oued Isser.

Type d'occupation	Surface (km ²)	surface en %
Agricole	642.57	56,43
Foret	8.26	0,73
Improductif	7.79	0,68
Maquis	180.32	15,84
Maquis Arbor	132.15	11,61
Parcours	153.80	13,51
Plan d'eau	2.14	0,19
Reboisement	7.26	0,64
Urbain	4.32	0,38

CHAPITRE II : PRESENTATION DU BASSIN VERSANT D'OUED ISSER

La plus grande partie du bassin est occupée par les terres agricoles avec 56.43%, suivie par les maquis et les parcours (27.45%). Les zones de forêt ne sont pas importantes et n'occupent que 0.73%. Cette situation indique que le bassin d'Isser présente des risques d'érosion importants et la répartition actuelle de l'occupation du sol n'est pas faite pour assurer la protection du bassin contre le phénomène de l'érosion et du transport solide.

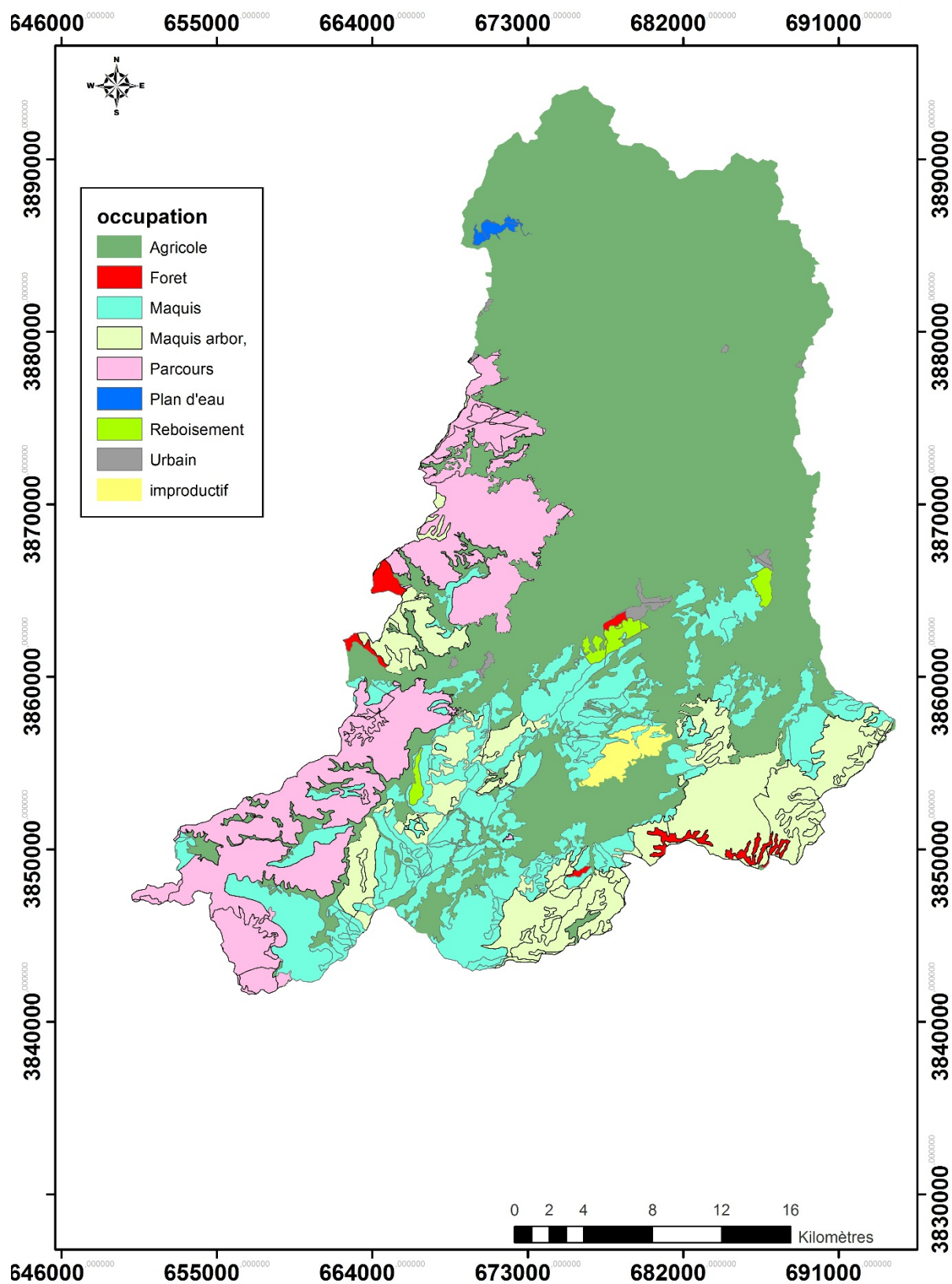


Figure .II.10. Carte de végétation du bassin versant d'oued Isser (CFT).

CHAPITRE III
HYDROLOGIE DU BASSIN
DE L'OUED ISSER

1. Introduction :

Le climat en général et les précipitations en particulier sont de loin les plus importants éléments qui conditionnent les écoulements aussi bien de surface que souterrain. Leur étude est donc plus que nécessaire pour pouvoir d'une part comprendre et analyser le comportement hydrologique des oueds et d'autre part établir les bilans d'eau des bassins versants.

L'étude des séries hydrométriques menées sur une durée assez longue permettent donc d'évaluer la réponse des rivières aux variations du climat. Dans cette optique, nous allons examiner l'évolution des précipitations et des écoulements au cours des dernières décennies dans le bassin versant d'Isser. Pour ce faire nous avons utilisé les données mesurées aux stations pluviométriques et hydrométriques présentées dans le tableau III.1.

Tableau .III.1 : Description des stations hydro-pluviométriques utilisées du bassin d'oued Isser.

Nom de station	code	Coordonnées Lambert			Période de la Série
		X	Y	Z	
Sidi Abdelli	16-06-13	149.90	205.50	323.0	1990-1991 à 2004-2005
Sidi Aissa	16-06-04	157.35	199.50	380.0	1988-1989 à 2003-2004

2. Etude des précipitations :

D'une manière générale, les précipitations déterminent la variabilité ou, mieux, l'irrégularité inter-saisonnière et interannuelle de l'écoulement de surface. Elles représentent la part essentielle de l'alimentation fluviale. Par ailleurs, le climat et les variations hydro-climatiques (températures, précipitations et drainage) représentent l'un des principaux facteurs de contrôle des processus de la géodynamique externe des bassins versants.

Les données utilisées proviennent de l'organisme responsable du réseau pluviométrique A.N.R.H (l'Agence Nationale des Ressources Hydraulique) observées au niveau de la station Sidi Abdelli.

2.1. Les précipitations annuelles :

Les variations interannuelles des précipitations à la station de Sidi Abdelli (Figure III.1) montrent que le régime annuel est très irrégulier d'une année à une autre. Sur une période de 15ans, 8années ont enregistré des hauteurs de pluie supérieures à la moyenne qui est de 370.16 mm.

Entre 2000 /2001 – 2003/2004, les précipitations sont supérieures à la moyenne avec un maximum en 2000/2001 de 421.4 mm, ceci caractérise une période relativement humide.

Entre 1991/1992-1993/1994, les précipitations sont inférieures à la moyenne avec un minimum de 282.7 mm, ceci caractérise une période relativement sèche.

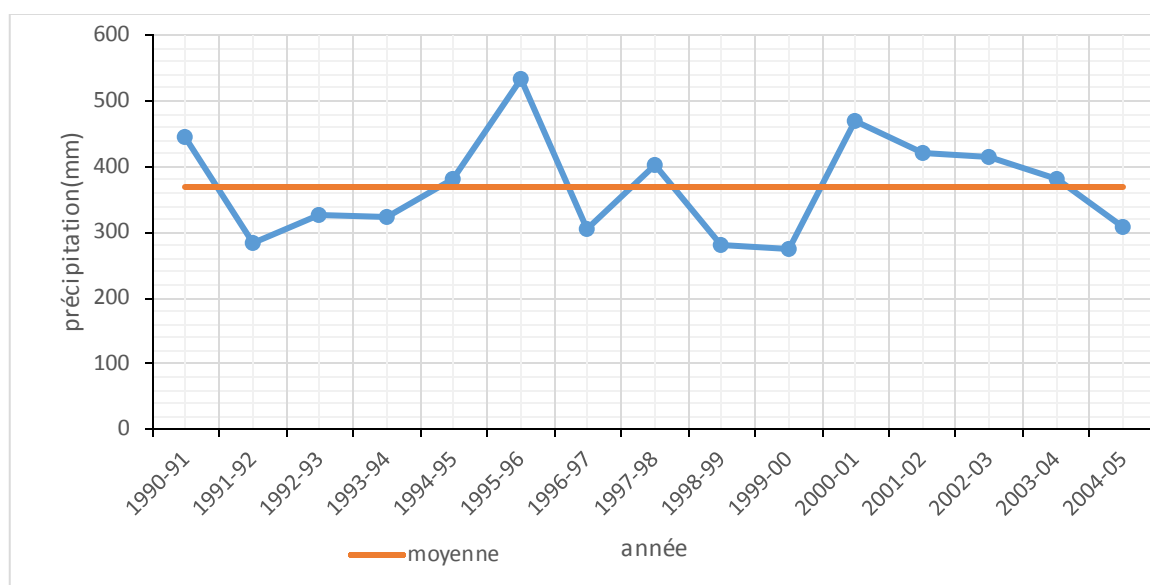


Figure III.1 : Variations interannuelles des précipitations à la station de Sidi Abdelli (1990 –2005).

2.1.1. Etude statistique des précipitations annuelles :

L'ajustement statistique consiste à vérifier des hypothèses d'homogénéité entre une variable aléatoire et un modèle calculé, si ce modèle est bien superposé à l'échantillon étudié, on peut dire qu'il est bien ajusté. L'objet de la méthode statistique est la réduction de la masse de données, qui si importante, devrait être remplacée par un nombre réduit de paramètres statistiques pouvant représenter correctement cette masse.

Afin de découvrir la structure des variations des précipitations et pour faire une analyse détaillée de ces données, l'ajustement statistique a été réalisé grâce au logiciel **Hyfran** qui est

un logiciel dont le but est d'effectuer l'ajustement de plusieurs lois statistiques à une série de données, il permet de simplifier l'ajustement d'une distribution statistique à un échantillon aléatoire. Ce logiciel a été développé par l'INRS –EAU en collaboration avec le service hydraulique (division hydrologie) d'Hydro-Québec. Il est initialement conçu pour l'analyse de fréquence des événements extrêmes.

L'ajustement graphique permet de vérifier si la forme de la loi retenue, corrèle bien avec la distribution de la variable étudiée et représente mieux l'échantillon. Le calcul des différents paramètres de la loi ou les lois choisies permet enfin de déduire les variations futures de la variable pour une probabilité donnée.

- **Test de normalité :**

Pour tester la normalité des séries, il existe deux méthodes :

- **Test graphique :**

Consiste à tracer sur un papier de Gauss la courbe théorique et la courbe empirique et de les comparer.

- **Test analytique :**

Parmi les tests utilisés nous avons le test du K^2 , le test de Kolmogorov, et on peut aussi utiliser un test qui considère les coefficients d'asymétrie et d'aplatissement. Le test de K^2 mesure l'écart qu'il y a entre les fréquences observées et les fréquences théoriques, il est donné par la statistique du K^2 . Il est utilisé pour déterminer si une distribution théorique comme la distribution normale, peut ajuster une distribution empirique, c'est-à-dire une distribution calculée à partir des données observées.

La loi normale est la loi statistique la plus répandue et considérée comme étant la plus adéquate pour les précipitations annuelles en Algérie. De plus, de nombreuses autres lois statistiques peuvent être approchées par la loi normale. Pour notre cas, nous allons appliquer les tests graphiques et le test du K^2 sur les données de notre station d'étude.

2.1.2. Adéquation des données à une loi de probabilité :

L'analyse statistique des précipitations permet de préciser les conditions du régime pluviométrique dans notre secteur d'étude, elle nous conduira également à estimer les précipitations pour des récurrences données. Elle nous permettra aussi de déterminer la loi d'ajustement des précipitations de notre station. Nous avons porté sur les annexes les valeurs des précipitations observées par ordre croissant à la station de sidi Abdelli. La fréquence de chaque valeur est calculée par la relation suivante :

$$F_i = i / N + 1 \quad (\text{III.1})$$

Avec :

i : rang,

N : période d'observation (nombres d'années).

La série pluviométrique obtenue, nous permet de calculer les paramètres statistiques (Tableau III.2) et de juger la distribution des précipitations annuelles.

Tableau .III.2 : Paramètres de position des précipitations de la station sidi Abdelli.

Paramètres	Formules	Valeurs
Moyenne	$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a P_i$	370.16
Variance	$V^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a (P_i^2 - \bar{P}^2)$	6031.07
Ecart-type	$\sigma = \sqrt{S^2}$	77.66
Coefficient de variation	$CV = \frac{\sigma}{\bar{P}}$	0.21

Le coefficient de variation $C_v < 0.3$, nous laisse penser fortement que l'ajustement suit une loi normale, le test X^2 permettra de vérifier cette adéquation.

a. Ajustement par la loi normale :

$$P = \bar{P} + \sigma \cdot U \quad (\text{III.2})$$

- **Test graphique :**

Le test graphique (figure III.2) montre que notre série de précipitations s'ajuste bien à la loi normale.

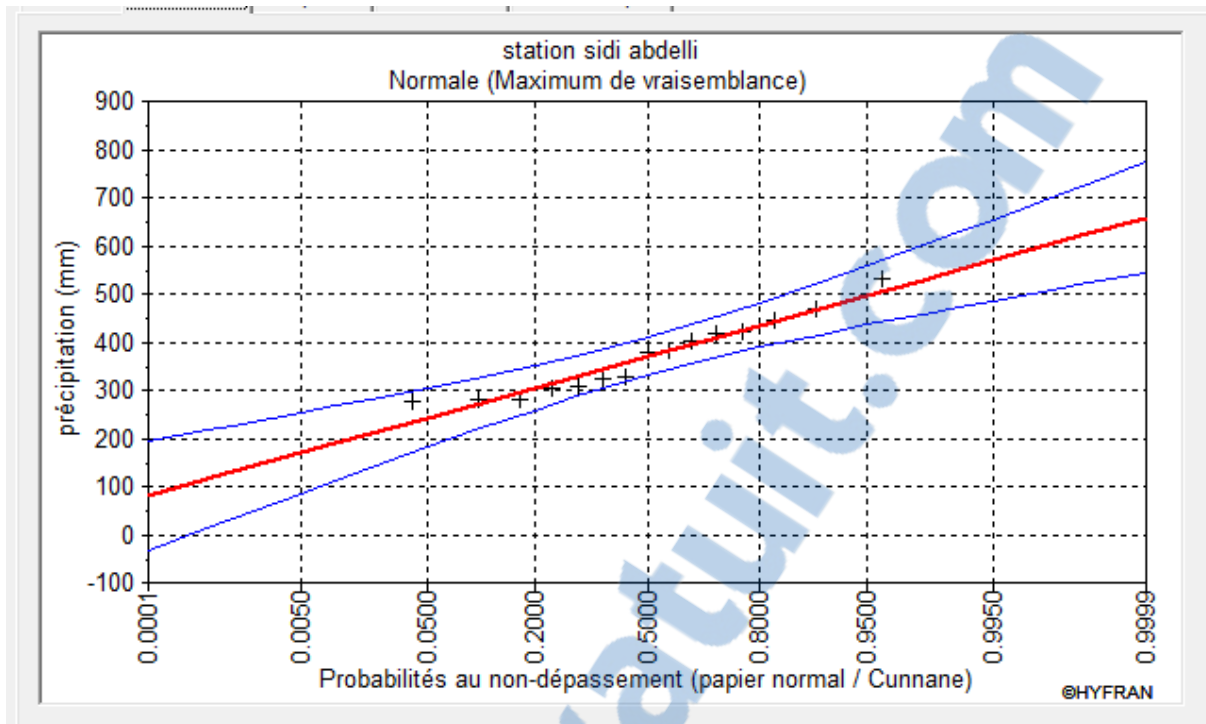


Figure III.2 : Ajustement à la loi normale des pluies de la station sidi Abdelli.

- **Test du X^2 :**

Le calcul du X^2 donne :

Nombre de classes	degré de liberté	X^2 calculé
5	2	0.67

Pour un seuil de probabilité de 5%, et deux degrés de liberté le X^2 tabulé = 5.99.

Le X^2 calculé étant inférieur au X^2 tabulé ($X^2_c < X^2_t$), l'adéquation pour une loi normale est acceptable.

2.1.3. Calcul des précipitations pour une période de récurrence donnée :

A partir de l'ajustement obtenu, par la loi normale nous la retiendrons pour effectuer les calculs des pluies correspondants à des récurrences données.

Partant de l'équation de la loi normal: $P = 370.16 + 77.66.U$, on peut calculer un certain nombre de précipitations types, en remplaçant «U» par sa valeur. Les résultats sont donnés au tableau III.3 :

Tableau III.3. Les précipitations pour une période de retour.

Station	Sidi Abdelli
Précipitations types	
Précipitations décennales (u=1.28) (mm)	469.56
Précipitations centennales (u=2.32) (mm)	550.33
Précipitations millénaires (u=3.29) (mm)	625.66

2.2. Les précipitations mensuelles :

Tableau III.4 : Valeurs moyennes mensuelles des précipitations à la station de Sidi Abdelli (1990-2005).

Mois	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	mai	jui	juil	Aout
P(mm)	20.6	26.8	55.4	47.2	53.8	54.9	41.5	32.6	33.4	3.1	2	5.6

La répartition des précipitations moyennes mensuelles pour la période (1990-2005) (figure III.3), montre que le minimum des précipitations s'observe au mois d'Août et Juin et Juillet (2mm), (mois les plus secs) et le maximum au mois de Novembre avec (55.4 mm) (mois le plus pluvieux).

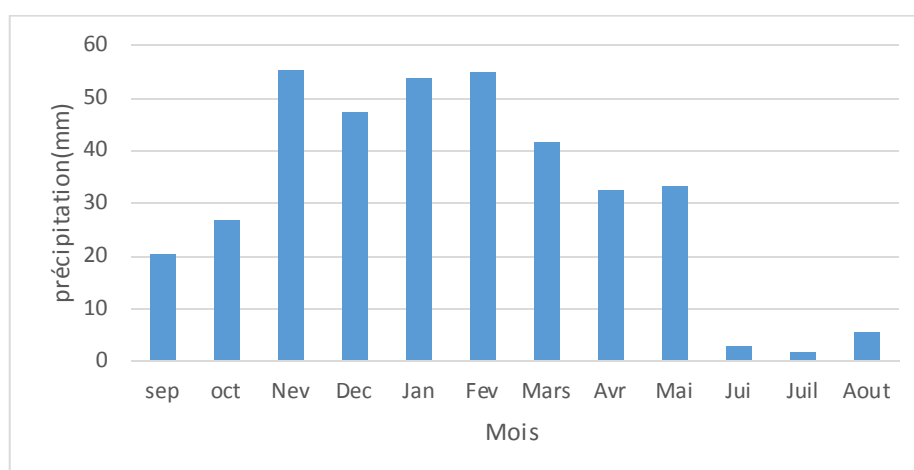


Figure III.3 : Variation des précipitations moyennes mensuelles à la station de Sidi Abdelli (1990-2005).

2.3. Les précipitations saisonnières :

L'étude de la variabilité saisonnière est indispensable, pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons.

La distribution saisonnière des précipitations montre (Tableau III.5 et Figure III.4), que l'été correspond à la saison la plus sèche. L'ensemble de l'hiver et du printemps forme une saison humide ou s'effectuerait la plus grande partie des écoulements.

Tableau III.5 : Répartition des précipitations saisonnières à la station de Sidi Abdelli (1995-2005).

Mois	Sep	Oct	Nev	Dec	Jan	Fev	Mars	Avr	mai	juì	juil	Aout
P	Automne			Hiver			Printemps			Eté		
(mm)	102.8			155.9			107.5			10.7		

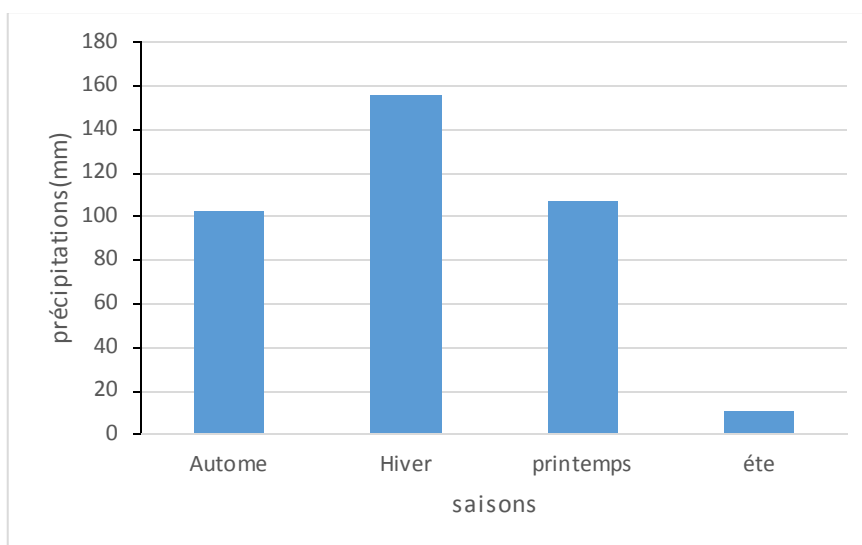


Figure.III.4 : Variations saisonnières des précipitations à la station de Sidi Abdelli (1990-2005).

3. Etude des débits :

Dans le tableau III.6., nous avons consigné les modules annuels de l'oued Isser à Sidi Aïssa pour la période (1988-2004).



CHAPITRE III : HYDROLOGIE DU BASSIN DE L'OUED ISSER

L'évolution des débits liquides annuels (figure III.5), montre un minimum en (1999-200) de 129.06 l/s qui évolue vers des valeurs plus importantes ; il atteint son maximum en (1990-1991) avec 1312.79 l/s.

Tableau III.6. Débits liquides annuels de l'oued Isser (Station sidi Aïssa).

Année	Q (l/s)
1988-89	472,48
1989-90	180,75
1990-91	1312,79
1991-92	296,49
1992-93	182,97
1993-94	159,50
1994-95	536,85
1995-96	894,53
1996-97	157,60
1997-98	281,58
1998-99	160,77
1999-00	129,06
2000-01	544,46
2001-02	302,51
2002-03	307,27
2003-04	243,53

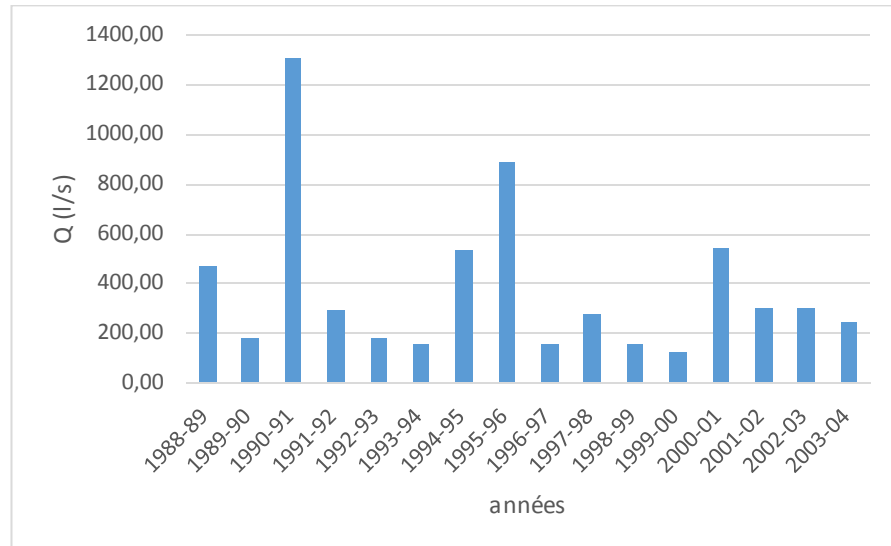


Figure .III.5 : Variations interannuelles des débits liquides de l'oued Isser à Sidi Aïssa(1988 –2004).

3.1. Etude statistique des débits liquides annuels :

La série obtenue (tableau III.6), nous permet de calculer les paramètres statistiques et de juger la distribution des débits liquides annuels. Les résultats de l'étude statistique sont portés sur le tableau III.7.

Tableau III.7. Paramètres de position des débits liquides mesurés à la station de Sidi Aïssa (oued Isser 1988-2004).

Paramètres	Valeurs
Moyenne	385,19
Ecart-type	319,25
Coefficient de variation	0,83

Le coefficient de variation $C_v > 0.5$, cela nous laisse penser fortement que l'ajustement suit une loi de Gumel et une loi log normale, le test X^2 permettra de vérifier cette adéquation.

3.2. Ajustement par la loi de Gumel :

$$Q = X_0 + u \cdot s. \quad (\text{III.3})$$

Avec :

$$S = 0.78. \sigma = 249.01.$$

$$X_0 = \bar{Q} - 0.577 \cdot S = 241.51.$$

- **Test graphique:**

Le test graphique (figure III.6), montre que la distribution à la loi de Gumel s'ajuste mieux que les autres types de distributions passées en revue par le code Hyfran.

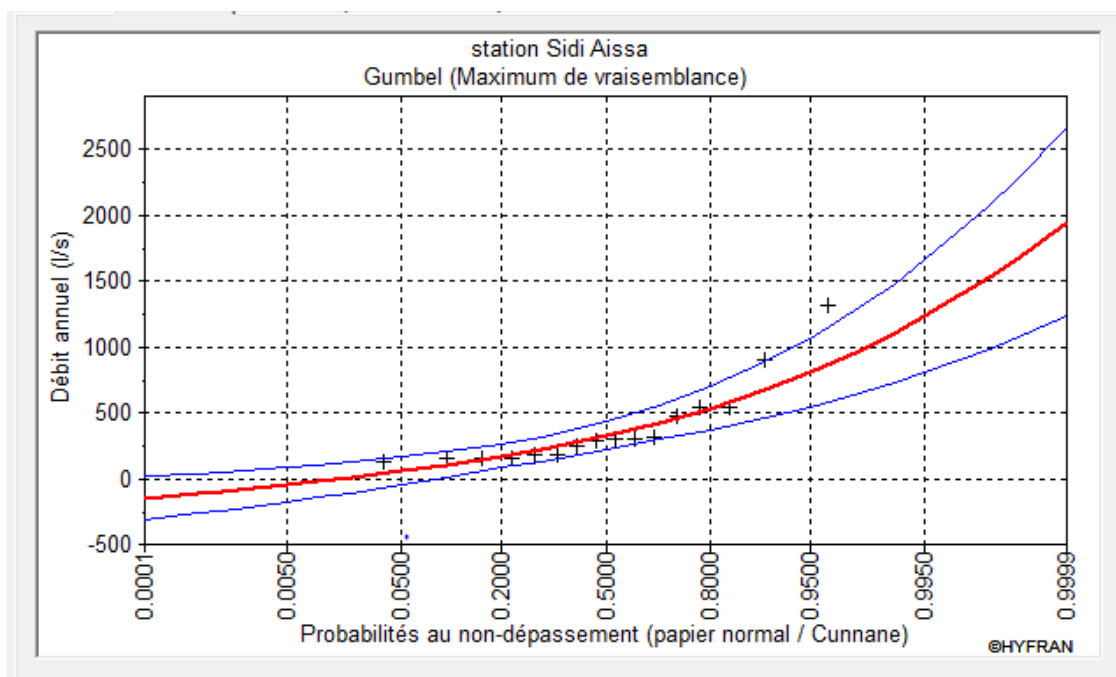


Figure. III.6. Ajustement à la loi de Gumbel des débits annuels à Sidi Aissa (oued Isser).

- **Test du X^2 :**

Le calcul du X^2 est donné sur le tableau ci-après :

Nombre de classes	degré de liberté	X^2 calculé
6	3	8

Pour un seuil de probabilité de 5%, et un degré de liberté égale à :

Ddl=3, le X^2 tabulé = 7.81.

Le X^2 calculé étant supérieur au X^2 tabulé ($X^2_c > X^2_t$), l'adéquation pour une loi de Gumbel n'est pas acceptable.

3.3. Calcul des débits pour une période de récurrence donnée par la loi de Gumbel :

On peut calculer aussi les valeurs des débits pour une période de retour des débits présentant une valeur connue.

Partant de l'équation de la loi de Gumbel: $Q = 241.51u + 249.01$. On peut calculer un certain nombre des débits types, en remplaçant «U» par sa valeur. Les résultats sont donnés au tableau III.8.

Tableau III.8.les débits pour un période de retour.

Station	Sidi Aissa
débits types	
Précipitations décennales (u=2.25) (l/s)	801.78
Précipitations centennales (u=4.60) (l/s)	1386.95
Précipitations millénaires (u=6.91) (l/s)	1962.16

3.4. Ajustement par la loi log normal :

$$\text{Log}Q = \overline{\text{Log}Q} + \sigma_{\text{Log}Q} * U \quad (\text{III}, 4)$$

Avec :

$$\overline{\text{Log}Q} = 2.48.$$

$$\sigma_{\text{Log}Q} = 0.29$$

- **Test graphique :**

Le test graphique (Figure III ,7) montre que la distribution a la loi log normal s'ajuste mieux

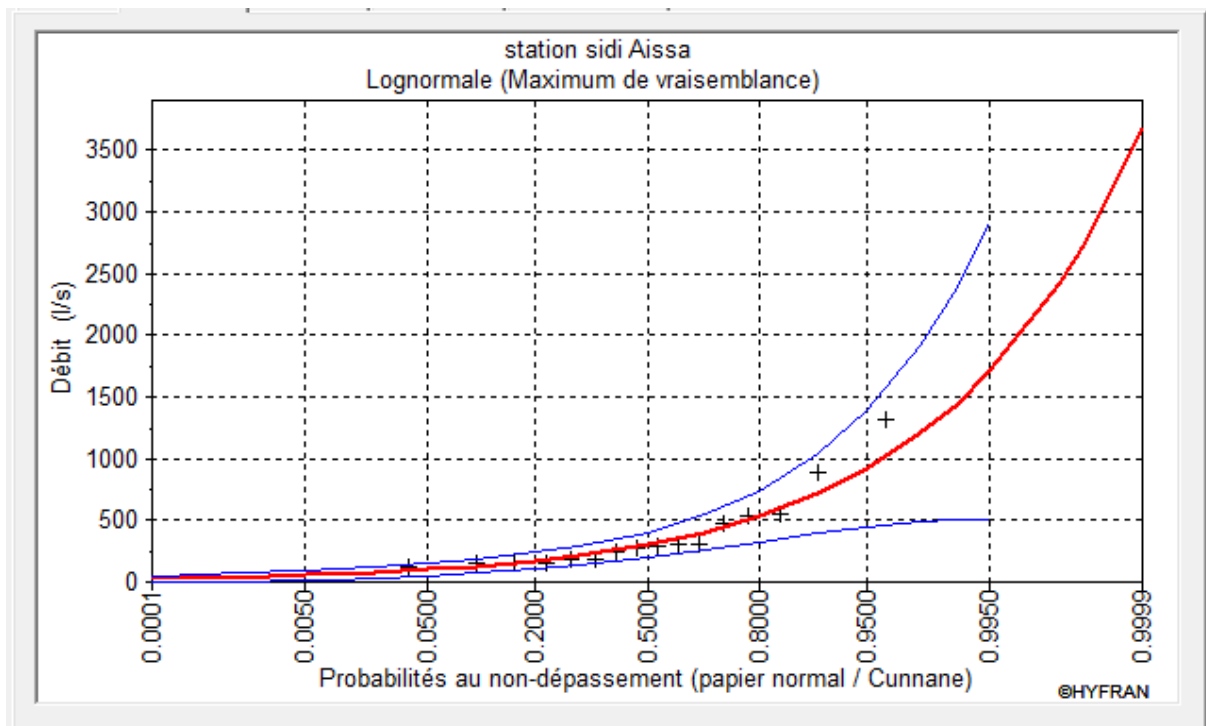


Figure. III.7. Ajustement à la loi log normal des débits annuels à Sidi Aissa (oued Isser).

- **Test du X^2 :**

Le calcul du X^2 est donné sur le tableau ci-après :

Nombre de classes	degré de liberté	X^2 calculé
6	3	2.75

Pour un seuil de probabilité de 5%, et un degré de liberté égale à :

Ddl=3, le X^2 tabulé = 7.81.

Le X^2 calculé étant inférieur au X^2 tabulé ($X^2_c < X^2_t$), l'adéquation pour une loi log normal est acceptable.

3.5. Calcul des débits pour une période de récurrence donnée par la loi log normal :

Partant de l'équation de la loi log normal : $Q = 0.29u + 2.48$. On peut calculer un certain nombre des débits types, en remplaçant «U» par sa valeur. Les résultats sont donnés au tableau III.9.

Tableau III.9. les débits pour un période de retour.

Station	Sidi Aissa
débits types	
Précipitations décennales ($u=1.28$) (l/s)	17.30
Précipitations centennales ($u=2.32$) (l/s)	23.40
Précipitations millénaires ($u=3.29$) (l/s)	26.84

CHAPITRE IV

ESTIMATION DE L'ENVASEMENT DU

BARRAGE IZDIHAR

1. Introduction

Dans ce qui suit, nous nous intéresserons à l'intégralité du bassin versant de l'oued Isser pour l'estimation du taux d'envasement du barrage El Izdihar avec le modèle (P.I.S.A). Les résultats trouvés seront confrontés à d'autres estimations soit de l'envasement direct par levé bathymétrique, soit des apports solides et dégradations spécifiques déterminées par mesure des concentrations ou par l'utilisation de modèles empiriques connus en Algérie.

Le barrage Sidi Abdelli nommé El Izdihar est érigé sur l'oued Isser affluent important de l'oued Tafna ; il est situé au nord du village de sidi Abdelli à l'amont de la ville de Bensekrane et à 37km de la ville de Tlemcen. La construction du barrage a débuté en 1979 et a duré 10 ans (1979-1989), il a été mis en service en 1990, sa capacité est de 110 Hm^3 .



Photo.IV.1. Barrage Izdihar (site web)

Les caractéristiques du barrage sont présentées dans le tableau IV.1 :

Tableau IV.1. Les caractéristiques de la digue du barrage.

Niveau de la crête	353.5 m
Niveau de la retenue normal	345 m
Niveau maximum exceptionnel	351.3 m
Surface de la retenue normale	660 ha
Hauteur maximum	60 m
Longueur en crête	665m

2. Le modèle P.I.S.A :

P.I.S.A est un modèle de prédiction de l'envasement dans les réservoirs artificiels. Il a été utilisé dans 42 ouvrages de mobilisation des eaux (barrages-retenues collinaires) italiens par Bazzofi et al. (1996,1997, 1998, 2000, 2003), Ouechtati et Baldassare, (2011) en Tunisie et Benkhadja et al, (2012) en Algérie.

Le modèle de prévision de l'envasement dans les réservoirs artificiels (P.I.S.A) est un modèle paramétrique statistique de régression linéaire multiple, conçu pour l'évaluation de la sédimentation dans les réservoirs. Il a été formulé pour être facilement et rapidement applicable, sans avoir besoin de données recueillies directement sur terrain, mais à partir des variables d'entrée obtenue à partir de la cartographie traditionnelle et l'analyse des séries chronologiques des variables hydrologiques.

Le modèle P.I.S.A se base sur des paramètres climatiques, morphologiques et physiques d'un bassin versant, qui peut fournir une prévision du taux moyen annuel de sédimentation dans les réservoirs artificiels exprimées en $m^3.Km^{-2}$ de sédiments. Il permet alors une estimation indirecte de l'érosion des sols en amont du barrage (Benkhadja et al. 2012). Le modèle PISA est décrit par la relation (IV. 1) suivante.

$$Y = 425.9334 - 1,3898A + 102,9576 (S_{ER})^{0.5} - 9,84435P_{EN} - 0.31\bar{p} + 116.718 D \quad (IV ,1)$$

Avec :

Y : Indice de sédimentation exprimé par le volume annuel de sédiments humides versés dans le barrage par unité de surface du bassin versant. (m^3/km^2) ;

A : Superficie du bassin versant (km^2) ;

S_{ER} : La surface érodable correspondant à la surface cultivable ajoutée à 1/16 de la surface non cultivées agroforestière (km^2)

P_{EN} : Pente moyenne du bassin versant (grades)

$\bar{p}$: Précipitation moyenne annuelle (mm)

D : Densité de drainage (km/km^2).

2.1. Application de modèle P.I.S.A :

Pour appliquer le modèle P.I.S.A sur le bassin versant d'oued Isser on procède à la digitalisation par le découpage du bassin en sous-bassins. En effet nous avons subdivisé le

CHAPITRE IV : ESTIMATION DE L'ENVASEMENT DU BARRAGE IZDIHAR

bassin en deux sous bassins, l'un amont (Haut Isser) formé par les oueds Chouly, Minoune et Bouhadi et l'autre aval (Bas Isser) formé par l'oued Isser.

A cet effet plusieurs cartes ont été établies à partir du logiciel **Arcgis** qui est un système d'information géographique, afin de déterminer chaque paramètre servant au calcul de l'indice de sédimentation du bassin versant :

- Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Isser (Figure. IV.1) : pour calculer densité de drainage.

$$D = \frac{\sum L}{A} = \frac{483.45}{433.14} = 1.11 \text{ km/km}^2 \quad . \text{ (Bas Isser)}$$

$$D = \frac{789.18}{705.93} = 1.11 \text{ km/km}^2 \quad . \text{ (Haut Isser)}$$

- carte des pentes (Figure. IV.2) nous a servi pour déterminer la pente moyenne (figure IV.3).

- Pour le Haut Isser

$$P_{EN} = 10.88^\circ = 12.08 \text{ grade}$$

- Pour le Bas Isser

$$P_{EN} = 6.39^\circ = 7.1 \text{ grade}$$

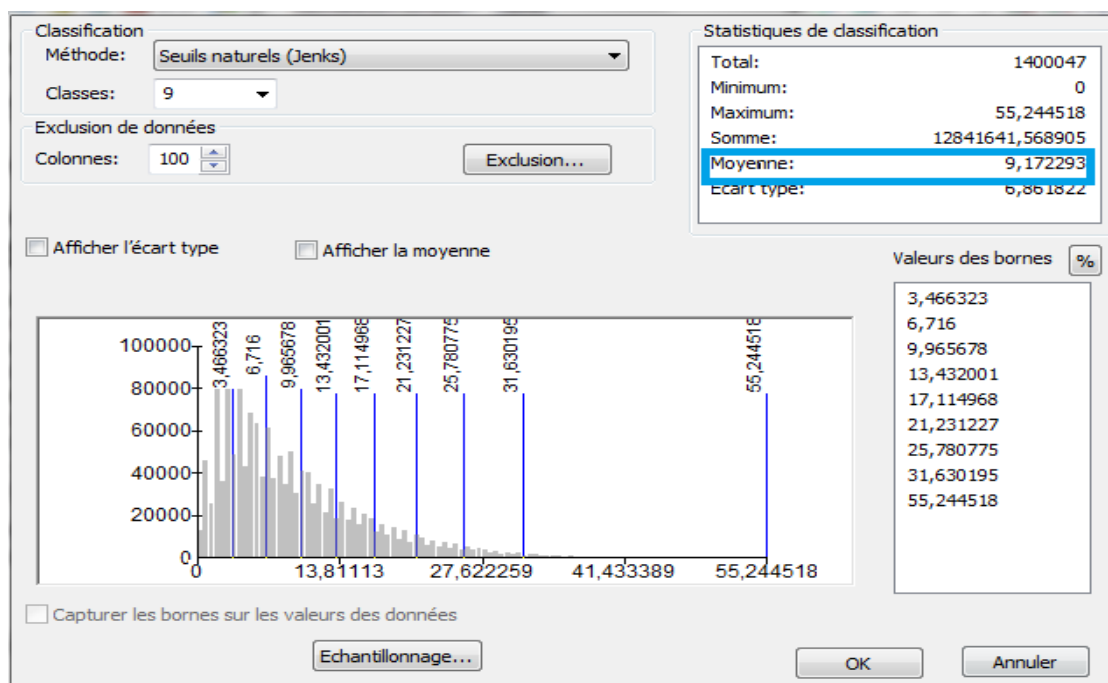


Figure. IV.1. Table de classification des pentes.

CHAPITRE IV : ESTIMATION DE L'ENVASEMENT DU BARRAGE IZDIHAR

➤ carte d'occupation du sol (Figure.IV.3.) est utilisée pour calculer la surface Érodable correspondant à la surface cultivable ajoutée à 1/16 de la surface non cultivées agroforestière.

$$S_{ER} = \text{agricule} + 1/16. (\text{Foret} + \text{maquis} + \text{maquis Arbor} + \text{parcours} + \text{reboisement}).$$

- Pour le Bas Isser nous avons :

$$S_{ER} = 391,63 + 1/16. 38,74.$$

$$S_{ER} = 394.05 \text{ km}^2.$$

- Pour le Haut Isser

$$S_{ER} = 248.50 + 1/16.444$$

$$S_{ER} = 276.25 \text{ km}^2.$$

➤ Précipitations :

Précipitations de station Sidi Abdelli : (Bas Isser)

Précipitations moyenne entre station de Chouly et ouled Mimoun : (Haut Isser)

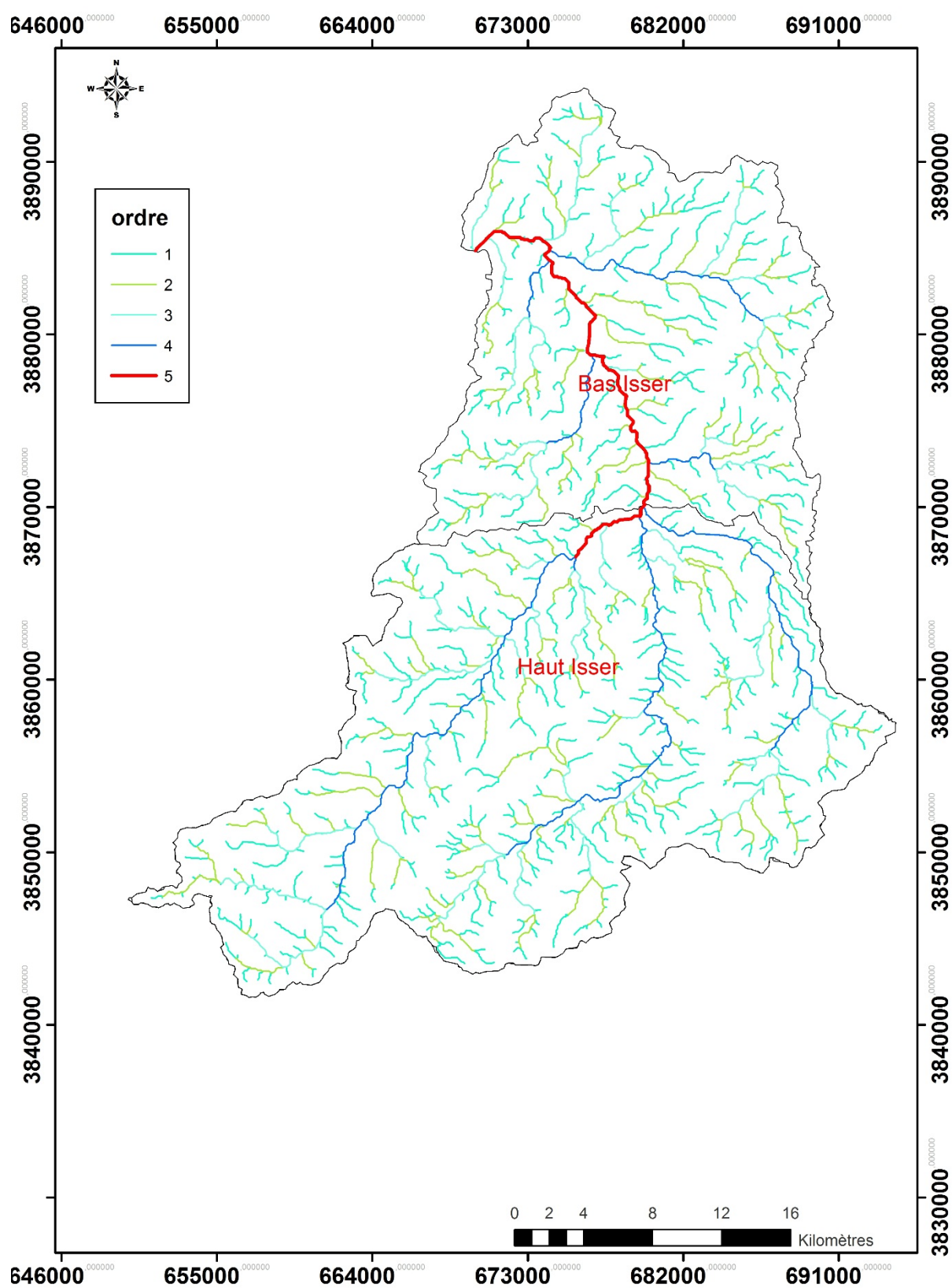


Figure. IV.2. Carte du réseau hydrographique du bassin versant d'Isser.

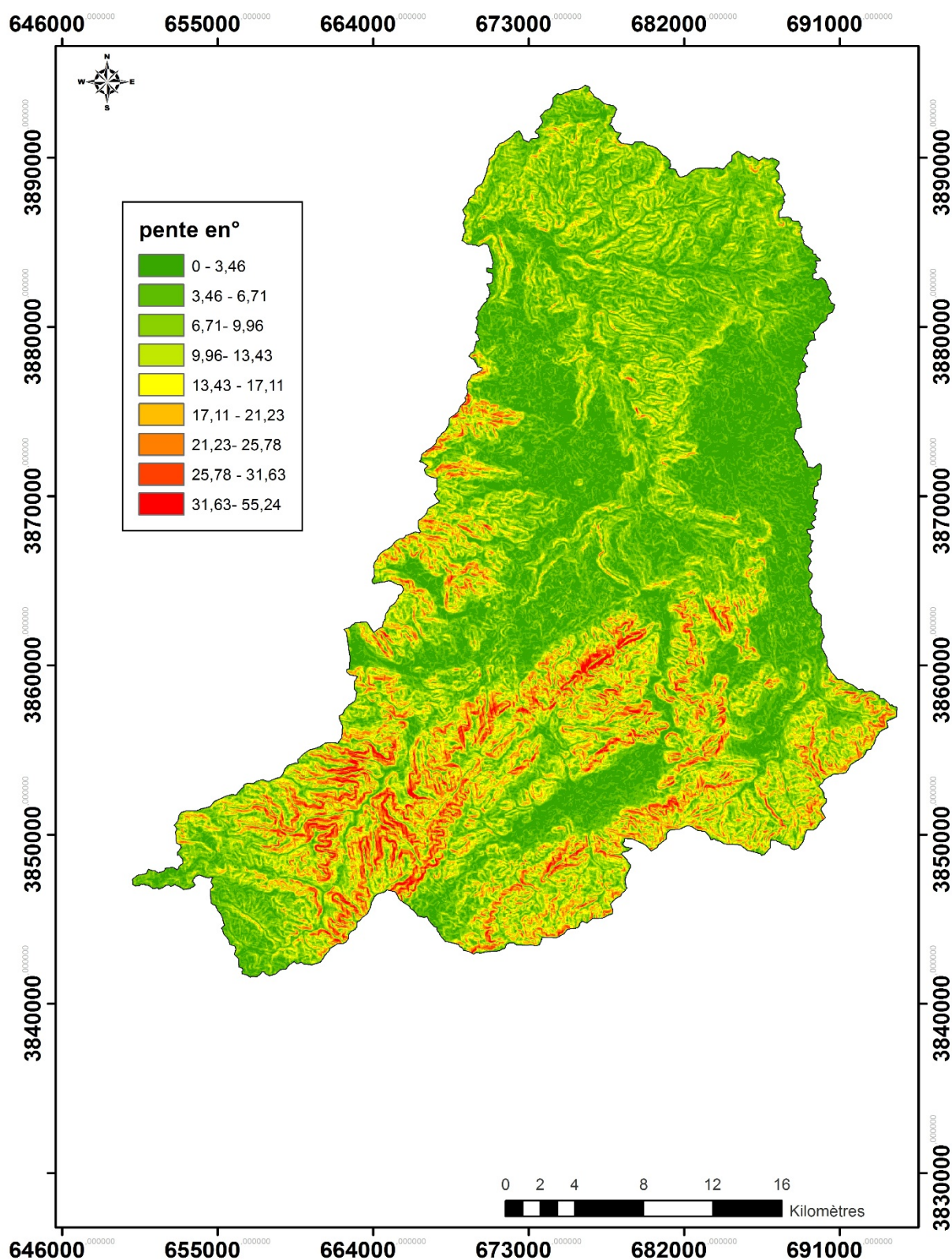


Figure. IV.3. Carte des pentes du bassin d'oued Isser

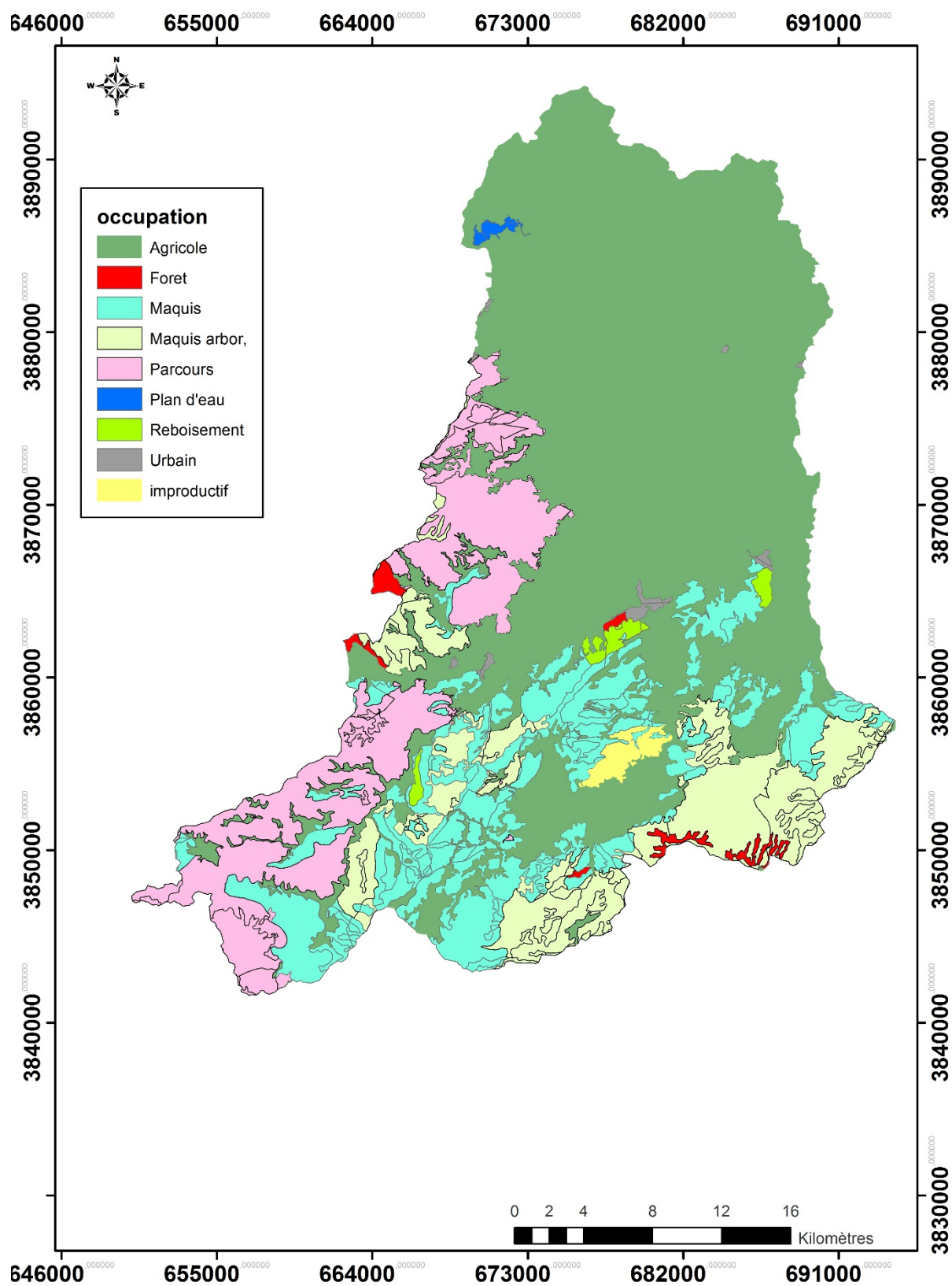


Figure. IV.4. Carte d'occupation du sol du bassin d'oued Isser (CFT).

2.2. Résultats et interprétation :

Après avoir calculé chaque paramètre constituant le modèle P.I.S.A, l'indice d'envasement annuel de chaque sous bassin peut être aisément défini. Aussi, nous présentons les résultats dans le tableau IV.2 et tableau IV.3.

Tableau. IV.2. Détermination de l'indice d'envasement de Haut Isser.

années	$\bar{P}$ (mm)	A (km ²)	S_{er} (km ²)	P_{EN} (grades)	D (km/km ²)	Y (m ³ /km ²)	Y (t/km ²)	Y (t)
1990-91	430,25	705,93	276,25	12,08	1,11	1 033,25	1 239,90	875 280,01
1991-92	311,1	705,93	276,25	12,08	1,11	1 070,18	1 284,22	906 569,51
1992-93	295,5	705,93	276,25	12,08	1,11	1 075,02	1 290,02	910 666,16
1993-94	299,5	705,93	276,25	12,08	1,11	1 073,78	1 288,54	909 615,74
1994-95	401,8	705,93	276,25	12,08	1,11	1 042,07	1 250,48	882 751,15
1995-96	535,85	705,93	276,25	12,08	1,11	1 000,51	1 200,61	847 548,82
1996-97	260,55	705,93	276,25	12,08	1,11	1 085,85	1 303,02	919 844,24
1997-98	320,2	705,93	276,25	12,08	1,11	1 067,36	1 280,83	904 179,79
1998-99	262	705,93	276,25	12,08	1,11	1 085,40	1 302,49	919 463,46
1999-00	260,15	705,93	276,25	12,08	1,11	1 085,98	1 303,17	919 949,28
2000-01	395,35	705,93	276,25	12,08	1,11	1 044,07	1 252,88	884 444,95
2001-02	392,5	705,93	276,25	12,08	1,11	1 044,95	1 253,94	885 193,38
2002-03	390,45	705,93	276,25	12,08	1,11	1 045,58	1 254,70	885 731,72
2003-04	426,25	705,93	276,25	12,08	1,11	1 034,49	1 241,38	876 330,43
2004-05	304,1	705,93	276,25	12,08	1,11	1 072,35	1 286,82	908 407,75

- La Conversion du volume de la vase en poids peut être obtenue en admettant que la densité de la vase est de 1.2.

L'indice de l'envasement du Haut Isser varie (figure.IV.6) de 1000.51 à 1085.98 m³/km²/an soit une moyenne de 1057.39 m³/km²/an, pour une Précipitation moyenne de 352.37mm/an.

La variation de l'indice d'envasement de Haut Isser montre que les années ((1996-1997), (1998-1999) et (1999-2000)) sont caractérisées par les plus forts envasements, par contre les

CHAPITRE IV : ESTIMATION DE L'ENVASEMENT DU BARRAGE IZDIHAR

années ((1990-1991), (1995-1996) et (2003-2004)) ont enregistré les plus faibles envasements à cause de la Précipitation moyenne annuelle (précipitation faible → l'indice d'envasement fort, précipitation fort → l'indice d'envasement faible).

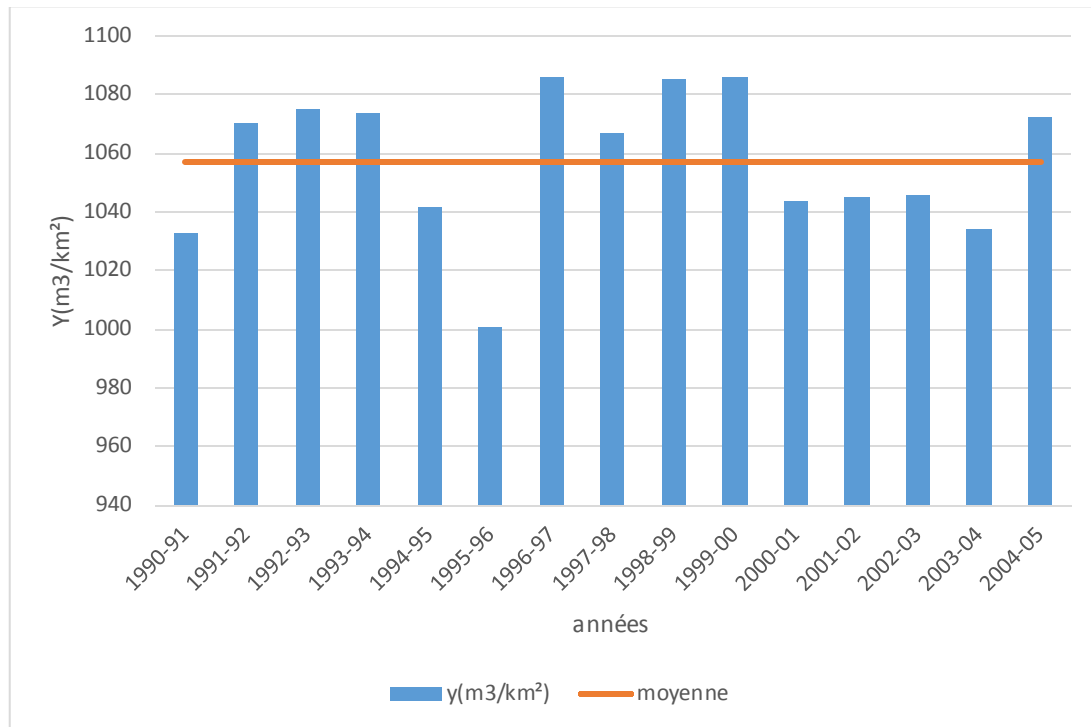


Figure IV.5. Variations annuelles de l'indice d'envasement d'haut Isser.

Pour le Bas Isser (tableau IV.3), l'indice de l'envasement annuel varie de 1762.28 à 1841.98 $m^3/km^2/an$ soit une moyenne de 1812.58 $m^3/km^2/an$, pour une Précipitation moyenne de 370.16mm/an.

La variation de l'indice d'envasement de Bas Isser montre que les années ((1991-1992), (1998-1999) et (1999-2000)) représentent les plus forts taux d'envasement, par contre les années ((1990-1991), (1995-1996) et (2000-2001)) ont produit les faibles taux d'envasement à cause des Précipitations moyennes annuelles qui sont faibles pour des indices d'envasement fort, et fortes pour des indices d'envasement faible).

CHAPITRE IV : ESTIMATION DE L'ENVASEMENT DU BARRAGE IZDIHAR

Tableau. IV.3. Détermination de l'indice d'envasement du Bas Isser.

années	$\bar{P}$ (mm)	A (km ²)	S_{er} (km ²)	P_{EN} (grade)	D (km/km ²)	Y (m3/km ²)	Y (t/km ²)	Y (t)
1990-91	445,3	433,14	394,05	7,1	1,11	1 789,28	2 147,14	930 011,99
1991-92	282,7	433,14	394,05	7,1	1,11	1 839,69	2 207,63	956 211,41
1992-93	327,8	433,14	394,05	7,1	1,11	1 825,71	2 190,85	948 944,53
1993-94	324	433,14	394,05	7,1	1,11	1 826,89	2 192,26	949 556,82
1994-95	381,8	433,14	394,05	7,1	1,11	1 808,97	2 170,76	940 243,62
1995-96	532,4	433,14	394,05	7,1	1,11	1 762,28	2 114,74	915 977,73
1996-97	305,3	433,14	394,05	7,1	1,11	1 832,68	2 199,22	952 569,92
1997-98	401	433,14	394,05	7,1	1,11	1 803,02	2 163,62	937 149,96
1998-99	282	433,14	394,05	7,1	1,11	1 839,91	2 207,89	956 324,20
1999-00	275,3	433,14	394,05	7,1	1,11	1 841,98	2 210,38	957 403,76
2000-01	470,2	433,14	394,05	7,1	1,11	1 781,56	2 137,88	925 999,90
2001-02	421,4	433,14	394,05	7,1	1,11	1 796,69	2 156,03	933 862,95
2002-03	416,1	433,14	394,05	7,1	1,11	1 798,33	2 158,00	934 716,93
2004-04	380,1	433,14	394,05	7,1	1,11	1 809,49	2 171,39	940 517,54
2004-05	307	433,14	394,05	7,1	1,11	1 832,16	2 198,59	952 296,00

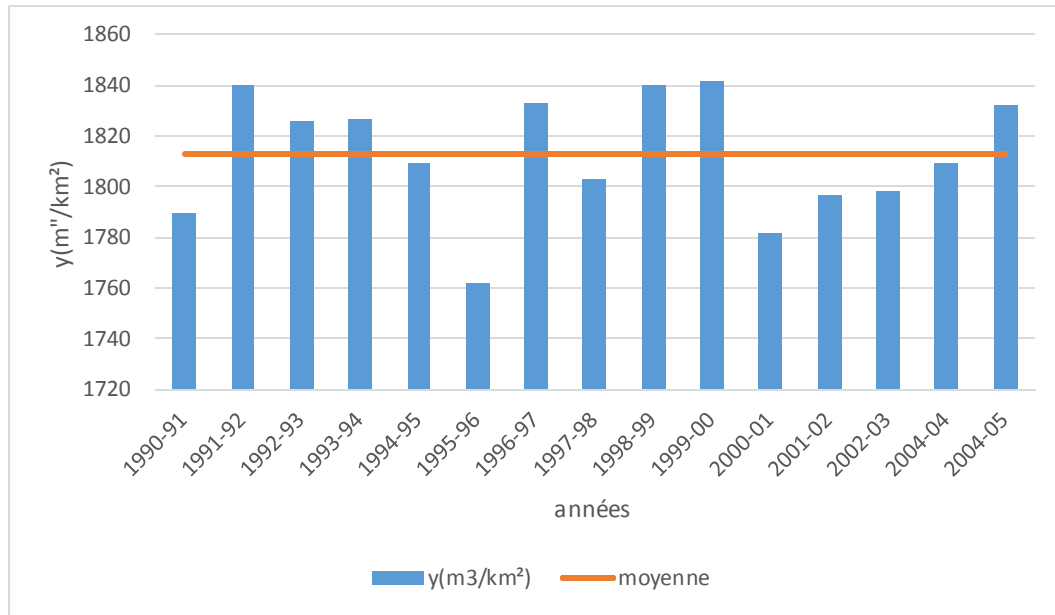


Figure.IV.6.Variations interannuelles de l'indice d'envasement de Bas Isser.

A partir de deux tables de détermination de l'indice d'envasement (Tableau. IV.2 et Tableau. IV.3.), Nous pouvons dire que le Bas Isser détient la plus forte quantité de production de sédiments avec une valeur de $27188.64 \text{ m}^3/\text{km}^2$ par rapport au Haut Isser $15860.85 \text{ m}^3/\text{km}^2$ (1990-2005).

La production variable des sédiments des deux bassins s'explique physiquement par :

- La grande surface érodable vulnérable à l'érosion hydrique.
- La variabilité spatio-temporelle des précipitations.

3. Validation des résultats du modèle :

3.1. Comparaison entre P.I.S.A et la formule de Quantification de l'érosion hydrique Sogreah :

- **Formule de Sogreah :**

Basée sur les données de 30 bassins algériens, la formule est donnée par :

$$Ass = \alpha . E^{0.15}$$

Avec :

Ass : apport solide spécifique (t/km^2)

α : coefficient dépendant de la perméabilité du sol (75), donné au Tableau ci-dessous

E : Ecoulement annuel (mm).

Tableau. IV.4 : Valeurs de α pour différentes perméabilités.

Perméabilité	α
Forte	8.5
Moyenne	75
Moyenne à faible	350
Perméabilité faible	1400
Imperméable	3200

Les résultats obtenus sont présentés dans le Tableau. IV.5.

Tableau. IV.5. les apports solides spécifiques par modèle sogreah et P.I.S.A.

Année	Ass(t/km ² /an) sogreah	Y(t/km ² /an) P.I.S.A
1990-91	128,553273	1584,9798
1991-92	102,833198	1635,45296
1992-93	95,6497504	1632,66962
1993-94	93,7291339	1632,28495
1994-95	112,413956	1600,52218
1995-96	121,366141	1548,31128
1996-97	93,5371723	1643,91058
1997-98	102,045036	1616,61962
1998-99	93,8242853	1646,8724
1999-00	90,7740047	1648,24674
2000-01	112,650989	1589,50382
2001-02	103,131707	1597,06438
2002-03	103,388945	1598,28679
2003-04	99,8528001	1595,12552

CHAPITRE IV : ESTIMATION DE L'ENVASEMENT DU BARRAGE IZDIHAR

Les Histogrammes de la figure IV.7, montrent que la dégradation spécifique obtenue par le modèle de Sogreah est de 1453.75 t/km² pour (1990-2004) alors qu'elle est de 22569.85 t/km² par le modèle P.I.S.A soit 15,52 fois plus grande que celle obtenue par le modèle de sogreah.

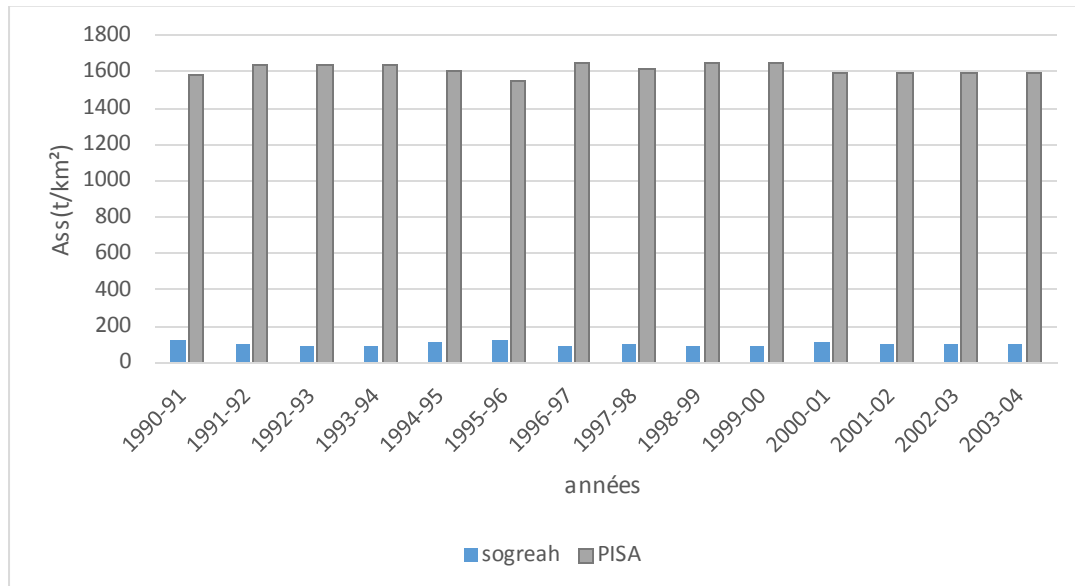


Figure. IV.7. Comparaison entre les apports solides spécifiques calculés par les deux modèles Sogreah et PISA.

3.2. Ecart entre le modèle P.I.S.A et les mesures réelles (levés bathymétriques) :

La quantification des sédiments acheminés vers l'exutoire (barrage Izdihar) consiste en l'addition de chaque taux de sédiments produit par le bassin versant Isser. L'écart entre les résultats du modèle P.I.S.A et les mesures réelles se calcule par la formule (IV ,2). Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (IV ,6).

$$\Delta = \frac{Y' - Y}{Y} \cdot 100 \quad (\text{IV ,2})$$

Δ : Ecart de l'envasement entre le modèle P.I.S.A et le levé bathymétrique ;

Y' : Envasement du barrage Izdihar entre (1990/2003) mesuré par levé bathymétrique en (Hm³) ;

Y : Envasement du barrage Izdihar entre (1990/2003) estimé avec le modèle P.I.S.A en (Hm³) ;

Tableau. IV.6. Ecart des valeurs de l'envasement évalué par le modèle P.I.S.A et le levé bathymétrique.

Sous bassin	Y (m^3/km^2)	Y (Hm^3)	Y (Barrage Izdihar) (Hm^3)	Y' (Hm^3)	Δ (%)
Bas Isser	23479.70	10,9	21.3	3,39	84.08
Haut Isser	13726.57	10.4			

L'estimation de l'envasement du barrage Izdihar avec le modèle P.I.S.A s'élève à $21.3Hm^3$, entre (1990-2004) tandis-que par levé bathymétrique la valeur est de $3.39 Hm^3$ ce qui donne un écart de 84,08%.

L'application du modèle P.I.S.A dans le bassin versant Isser tend à surestimer la valeur de l'envasement du barrage Izdihar avec un ordre de 6.28 fois en comparaison avec le levé bathymétrique de l'année 2003.

3.3. Ecart entre le modèle P.I.S.A et le volume total de l'apport solide arrivé à la retenue du barrage (1990/2003) :

La méthode de calcul est définie dans la formule (IV ,3). Le tableau (IV ,8) rassemble les différents calculs effectués.

$$\Delta = \frac{As-Y}{Y} \cdot 100 \quad (IV ,3)$$

- **Calcul de l'apport solide arrivé à la retenue du barrage entre (1990-2003) :**

Pour cela nous avons repris (tableau IV.7), les valeurs trouvées par Bouanani 2004 dans son travail de thèse.

Tableau. IV.7. les apports solides mesurés (Bouanani ,2004).

année	AS(t)
1990-91	1 180 179,07
1991-92	16 161,90
1992-93	7 708,09
1993-94	585,53
1994-95	440 743,68
1995-96	81 737,68
1996-97	2 647,21
1997-98	45 098,21
1998-99	
1999-00	
2000-01	
2001-02	
2002-03	
2003-04	
moyenne	221 857,67

Pour calculer l'apport solide entre (1998-2004) on a multiplié la moyenne de l'apport solide (1990-1998) par le nombre d'années.

$$AS = 221857,67 \times 6 = 1331146.02 \text{ t.}$$

$$As = 1331146.02 + 1774861,37$$

$$As = 3106007.39 \text{ t.}$$

Soit un volume de 2.58 Hm^3 , en prenant comme densité de la vase égale à 1.2.

$$As = \frac{3106007.39 \times 1000}{1200} \times 10^{-6} = 2.58 \text{ Hm}^3$$

Enfin l'écart entre les résultats des deux modèles est donné dans le tableau IV.8.

CHAPITRE IV : ESTIMATION DE L'ENVASEMENT DU BARRAGE IZDIHAR

Tableau. IV.8. Ecart entre le modèle P.I.S.A et le volume total de l'apport solide arrivé à la retenue du barrage (1990/2004) :

As(Hm ³)	Y(Hm ³)	$\Delta(\%)$
2.58	21.3	87.88

As : Transport solide arrivé à la retenue du barrage entre (1990/2004) en (Hm³) ;

Y : Envasement du barrage calculé avec le modèle P.I.S.A entre (1990/2004) en (Hm³) ;

Δ : Ecart de l'envasement entre le modèle P.I.S.A et l'apport solide.

L'estimation de l'envasement du barrage Izdihar avec le modèle P.I.S.A s'élève à 21.3Hm³, tandis-que par apport solide la valeur est de 2.58Hm³, ce qui donne un écart de 87,88%.

L'application du modèle P.I.S.A dans le bassin versant Isser tend à surestimer la valeur de l'envasement du barrage Izdihar avec un ordre de 8.26 fois plus en comparaison avec l'apport solide de la même période (1990-2004).

CONCLUSION GENERALE

Le phénomène de l'envasement touche les pays du Maghreb, plus particulièrement notre pays et s'accélère à partir des années 2000, il a un effet très grave sur l'économie nationale et sur les ressources hydriques de notre pays.

Pour lutter contre ce phénomène, Il faut tous d'abords trouver la méthode la plus efficace pour estimer réellement le taux d'envasement avant de construire un barrage, afin d'éviter le gaspillage d'argent aléatoirement et de protéger l'économie nationale.

Etant donné l'importance du facteur état de surface des parcelles cultivées sur les risques de ruissellement, d'érosion et le transport solide, le rôle des agriculteurs est prépondérant. Cet état dépend de l'utilisation du sol, du système de culture, du travail du sol et du choix des outils.

Dans le bassin versant d'oued Isser de notre zone d'étude le volume total de l'apport solide arrivé à la retenue du barrage est de 2.58 Hm^3 (1990-2004) selon Bouanani.2004 et par le modèle Sogreah, est de 1.37 Hm^3 (1990-2004).

L'application du modèle(P.I.S.A) dans les sous-bassins de l'oued Isser révèle une répartition variable de production des sédiments. En additionnant les indices d'envasement de chaque sous-bassin nous obtenons pour le barrage d'El Izdihar un volume de sédimentation de 21.3 Hm^3 . Cette valeur est 6,28 fois supérieure de celle trouvée par le levé bathymétrique évalué à 3.39 Hm^3 , l'écart entre les deux valeurs est estimé à 84,08%. Pour ce qui est de volume total de l'apport solide en suspension arrivé à la retenue du barrage l'écart augmente jusqu'à 87.88% alors que pour le modèle Sogreah, il atteint 93.57%.

Au terme de cette étude, il est clair que pour le bassin d'oued Isser, le modèle PISA surestime largement l'apport de vase à la retenue du barrage d'el Izdihar par rapport à toutes les méthodes de mesure ou de calcul que nous avons utilisé. Le modèle PISA est-il inadapté à nos bassins ? Ou faudrait-il travailler sur des bassins plus petits ou procéder à une discrétisation en « mailles bassins » plus fine qui permettrait de fournir des valeurs plus précises des différents paramètres utilisés dans le modèle ?

.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Bazzoffi, P. Baldassarre, G. (2000).Effect of agricultural land use changes on sediment yield and reservoir sedimentation: application of an indicator of off-farm sediment flow. In: Water Conf and Arab J Geosci Exp "Guarding the Global Resource". Auckland, New Zealand, pp 110–121.

Bazzoffi, P. Baldassarre, G. Pellegrini, S. Bassignana, A. (1997).Models prediction of water storage decrease in Italian reservoirs. Collection Environnement de l'Université de Montréal, Hors-série 9:249–252.

Bazzoffi, P. Baldassarre, G. Pellegrini, S. Radina, B. (1998). Neural model for assessing basin sediment yield and reservoir sedimentation. 8th Int IAEG Congress, Vol 4. Balkema, Rotterdam, pp 2717–2724.

Bazzoffi, P. Baldassarre, G. Vacca, S. (1996).Validation of PISA2 Model for automatic assessment of reservoir sedimentation. In: Albertson M (ed) Proceedings of the international conference on reservoir sedimentation. Colorado State University, Fort Collins, pp 519–528.

Bazzoffi, P. Van Rompaey, A. (2003).PISA model to assess off-farm sediment flow indicator at watershed scale in Italy. OECD expert meeting "Soil Erosion and Soil Biodiversity Indicators" 25–28 March 2003, Rome, Italy.

Benkhadja, R., Hattab, A., Mahdaoui, N., Zehar, C.(2012).Assessment of soil losses and siltation of the K'sob hydrological system (semiarid area-East Algeria). Arabian Journal of Geoscience. 10 p.

Bent Hascholt, Madeyski M. 1998. Suspended sediment yield from the Ansager a river bassin, Denmark. Geografisk tidsskrift, bind, 98: 38-45.

Bouanani A., (2004) : Hydrologie, transport solide et modélisation : Etude de quelques bassins de la Tafna (NW – Algérie), Thèse de Doctorat d'Etat, Université de Tlemcen, 204 p.

Bouchelkia H et Benhadj M O, 1994, Contribution à la modélisation statistique des transports solides en suspension, mémoire d'ingénieur en Hydraulique, Ecole nationale polytechnique d'Alger, 116p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Boughalam K M ,2013.impact des systèmes de gestion sur la vulnérabilité des sols a l'érosion cas du bassin versant de l'Isser Tlemcen, thèse de doctorat en science forestières Université de Tlemcen, 212 p.

BouKheir M, Khawlie G M, Abadallah C. 2001.Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranés : une revue bibliographique. Etude et gestion des sols, 8-4: 231-245.

Camuzard. J. P. 2003.Le sol interface nature et sociétés. ENGREF Paris, 86-98.

Colonbani J, Olivry O. 1984.Phénomènes exceptionnels d'érosion et de transport solide en Afrique aride et semi-aride. IAHS, 144: 295-300.

Daoudi M. (2008) : Analyse et prédiction de l'érosion ravinante par une approche probabiliste sur les données multi sources. Cas du bassin versant de l'Oued Isser- Algérie. Thèse de doctorat en sciences, université de liège, faculté de science, département géographique, 288p.

De Cesare G, 1998. Alluvionnement des retenues par courants de turbidité, Thèse de doctorat, Département de Génie civil, École polytechnique fédérale de Lausanne, 186p.

Degoutte, G., 2006. Aide-mémoire d'hydraulique a surface libre, Edition ENGREF.

Demmak A., (1982) : Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale, Thèse Doct. Ing, Paris, 323p.

Govers G., (1991), Rill erosion on arable land in Central Belgium: rates, controls and predictability, Catena 18, 133-155.

Graf W., 2000. Hydraulique Fluviale. Presse Polytechnique Romande.

Guillobez S. 1990.Réflexions théorique du ruissellement et de l'érosion. Base d'un contrôle application à la détermination des écartements entre dispositifs antiérosifs. CIRAD/IRAT à la mission française de coopération et d'action culturelle au Burkina Faso. Revue bois et foret des tropiques, 226 (4etrimestre) : 39-46p.

Kassoul M, 1991, Contribution à l'étude de la sédimentation des barrages en Algérie. Mémoire d'ingénieur, Ecole nationale supérieure d'hydraulique, Blida.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Laborde J. P., (1995), Les différentes étapes d'une cartographie automatique, Exemple de la Carte pluviométrique de l'Algérie du nord, Publication de l'Association Internationale de Climatologie, vol 8, 37-48.

Mazour M., (1992) : Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant de l'oued Isser- Tlemcen-Algérie, Bull ; Réseau érosion, 12: 300-313.

Mussy, A., 2002. Cours d'hydrologie générale. EPF Lausanne.

Musy A, Higy C. 2003.Hydrologie : une science de la nature. Presse polytechniques et universitaires romandes, 314 p.

NETO M., 2007 scenarios de gestion de boues de dragage de cours d'eau : rôle des bactéries dans la mobilité des polluants métalliques. Thèse doctorat à l'institut national des sciences appliquées de Lyon.

Ouechtati, S. Baldassare, G. (2011).Evaluation du transport solide et de l'envasement dans le bassin versant de Siliana (tunisie): cas des barrages Siliana et Lakhmess. Bull Eng Geol Environ 70(4):709-722.

Photo barrage Izdihar

<https://frfr.facebook.com/617253425015311/photos/a.617830108290976.1073741828.617253425015311/837957142944937/?Type=3>

425015311/837957142944937/?Type=3.

Prolhac N. et Lann K., 2006. Rapport final du schéma directeur de gestion et de valorisation des sédiments de dragage de Rouen et Tancarville. Département de la Gironde .bassin d'Arcachon.

Rapporte français sur l'Algérie.

<http://www.cedare.org.eg/files/rapportfrancais.doc> (consulté 28/03/06), in Bouchelkia

Remini B, Avenard J, Kettab A, 2003, L'envasement des barrages, édition CEDOC ,Algérie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Remini B, 1990. Etude hydrodynamique du mécanisme d'envasement. Thèse de Magister, Ecole National Polytechnique d'Alger, 100p.

Remini B, Hallouche W, 2005, L'alluvionnement des retenues, imprimerie Madani Blida.

Remini B., 2008, La surélévation des barrages –une technique de lutte contre l'envasement- Exemples algériens. Revue La Houille Blanche, n°5.

Remini B, 2003, Envasement des retenues de barrage en Algérie et moyen par la technique de soutirage, Thèse de doctorat, école nationale polytechnique d'Alger, 342p.

Remini. B, 2005, La problématique de l'eau en Algérie, Ed : OPU.

Roose E. 1991. Conservation des sols en zones méditerranéennes synthèse et proposition d'une nouvelle stratégie de lutte antiérosive. CahOrstom, sér. Pédol., XXVI (2) : 145-181.

UNESCO, 1989, Problème d'érosion, transport solide et sédimentation dans les bassins versants. Projet 5.3 du programme hydrologique international, rapport préparé sous la présidence de Saudbarg A. directeur de la publication White W.R.

UNESCO, 1986, Méthodes de calcul de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs, Contribution au Programme Hydrologique Internationale PHI - II Project A.2.6.1 Panel Stevan Bruk, Rapporteur Janvier 1986.

Vanoni V.A., 1977. Sedimentation engineering. ASCE, Hydraulic Division.

Xiaoqing Y. 2003. Manual of sediment management and measurement. World meteorological organization operational. Geneva. Switzerland, 948: 159 p.

Zachar D. 1982. Soil erosion. Developments in Soil Science 10. Forest research institute, Zvolen. Czechoslovakia. Elsevier scientific publishing company, 547 p.

RESUME

L'érosion hydrique des sols et la sédimentation des barrages en Algérie suscite un intérêt particulier chez les pouvoirs publics vu la gravité du phénomène tant sur le plan économique que social. Le présent travail a pour objectif principal l'estimation du taux d'envasement du barrage Izdihar (Sidi Abdelli) situé dans le bassin versant de l'oued Isser (1139 km²) par le modèle P.I.S.A (Previsioni Interimento Serbatoi Artificiali).

Pour appliquer le modèle, l'utilisation d'informations cartographiées de terrain nécessite l'utilisation d'un Système d'Information Géographique (Arcgis) qui nous a permis d'extraire, de superposer et d'analyser plusieurs facteurs, tels que la pente, le couvert végétal et le réseau hydrographique.

L'application du modèle sur le bassin d'oued Isser où est érigé le barrage Izdihar montre une répartition variable de production des sédiments, certainement due aux conditions lithologiques, topographiques, climatiques et d'occupation des sols. Le taux global d'envasement estimé est de 21.3 Hm³ durant la période (1990/2004).

Pour la validation du modèle P.I.S.A., nous avons précédé à la comparaison du résultat trouvé à ceux obtenus par d'autres méthodes et modèles. En effet Les estimations de l'envasement obtenues par levé bathymétrique, par le calcul des apports sédimentaires à partir des mesures des concentrations au niveau du cours d'eau et par le modèle Sogreah sont respectivement inférieures de 84,04 %, 87,88% et 93,57% de celles établies par le modèle PISA.

Mots clés : Barrage Izdihar-oued Isser-Envasement-Arcgis -Modèle P.I.S.A.

ABSTRACT

Water erosion of soils and the sedimentation of dams in Algeria is of particular interest to public authorities in view of the seriousness of the phenomenon, both economically and socially. The main objective of this work is to estimate the siltation rate of the Izdihar dam (Sidi Abdelli) in the Oued Isser watershed (1139 km²) by the P.I.S.A model (Previsioni Interimento Serbatoi Artificiali). To apply the model, the use of mapped field information requires the use of a Geographic Information System (ArcGIS) which allowed us to extract, superimpose and analyze several factors, such as slope, vegetation cover and hydrographic network.

The application of the model on the Wadi Isser basin where the Izdihar dam is erected shows a variable distribution of sediment production, certainly due to lithological, topographical, climatic and land-use conditions. The estimated total siltation rate is 21.3 Hm³ during the period (1990/2004).

For the validation of the P.I.S.A. model, we have preceded to the comparison of the results with those found by other methods and models. Indeed Estimates of siltation obtained by bathymetric survey, by calculation of sedimentary transport measurements and by the sogreah model are respectively 84.04%, 87.88% and 93.57% lower.

Keywords: dam Izdihar-oued Isser-siltation-Arcgis –Model- P.I.S.A.

ملخص

ان تآكل التربة وترسيبها في السدود في الجزائر ذات أهمية خاصة للسلطات نظرا لخطورة هذه الظاهرة اقتصاديا واجتماعيا.

ان الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تقدير معدل توحد سد ازدهار (سيدي العبدلي) الواقع في حوض واد أيسر (1139 كيلومتر مربع) من خلال نموذج P.I.S.A ولتطبيق هذا النموذج نقوم باستخدام نظام المعلومات الجغرافية (Arcgis) لاستخراج مجموعة من الخرائط منها: خريطة المنحدر، الغطاء النباتي ونظام توزيع المياه. وقد اظهر تطبيق النموذج على الحوض توزيع متغير للرواسب وذلك بسبب الغطاء النباتي وكمية الامطار المتساقطة. ويقدر معدل التوحد ب 21.3 هكتو متر وذلك من سنة 1990 الي غاية 2004. وللتحقق من النموذج قمنا بمقارنته مع نتائج التوحد المقاسة في السد وقياس التركيزات في واد أيسر وكان الفرق 84.04 %، 87.88 % على التوالي وبالمقارنة مع نموذج Sogreah وجدنا الفرق يصل الى 93.57 %.

الكلمات المفتاحية: سد ازدهار-واد يسر-التوحد -P.I.S.A- Arcgis