

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Génie civile et hydraulique
Ref:.....



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم: الهندسة المدنية و الري
المرجع:.....

Thèse pour l'obtention du diplôme
de Doctorat en sciences
Spécialité : Hydraulique

Thème

**Les signes de l'érosion hydrique à travers les sous
bassins versants d'Oued El Arab : causes et effets
sur le barrage de Babar**

Présenté par M^r : AOUACHRIA Miloud

Devant le jury :

Président : MIMECHE Leila	<i>Professeur.</i>	Université de Biskra
Examineur : DERDOUS Oussama	<i>MCA.</i>	Université d'Ouargla
Examineur : BOUAMRANE Ali	<i>MCA.</i>	Université d'Ouargla
Rapporteur : BOUZIANE M ^{ed} Tewfik	<i>Professeur.</i>	Université de Biskra

REMERCIEMENT

Tout d'abord louanges et merci à dieu le tout puissant pour la volonté, la patience qu'il m'a donné durant toutes ces longues années d'études afin que je puisse arriver là.

Je voudrais remercier très vivement monsieur le Professeur ; BOUZINE M^{ed} Tewfik, pour les précieux conseils qu'elle a pue me donner pour élaborer ce travail, Je tiens à remercier les membres de jury qui ont honoré de leur présence : Madame la présidente du jury MIMECHE Leila, Professeur de l'université de Biskra, et Monsieur le D^r. BOUAMRANE Ali, Maitre de conférence A de l'université d'Ouargla, Ainsi le D^r. DERDOUS Oussama, Maitre de conférences A de l'université d'Ouargla.

J'adresse aussi mes remerciements à Monsieur le professeur AOUACHRIA Z université de Batna Département de Physique pour leurs aides, leur encouragement.

J'associe à ces remerciements à toutes personnes ayant apporté un plus a la réalisation de cette thèse.

Aouachria A

Dédicace

A l'esprit de mon père, à ma mère, mes frères, mes sœurs, ma petite famille et à tous ceux qui m'aime.

Aouachria A

SOMMAIRE

Introduction générale	1
Situation géographique de la zone d'étude.....	10

Chapitre 1 : Aperçu sur l'état de l'art d'érosion,l' envasement en Algérie

Introduction	4
1. Etat sur les recherches effectuées sur le transport hydrique en Algérie.....	6
2. Les études effectuées sur l'état des barrages à l'Est de l'Algérie.....	6
3. Les études effectuées sur l'état des barrages à l'Ouest de l'Algérie	6
4. Les études effectuées sur l'état des barrages à l'Ouest de l'Algérie	7
5. Dévasement des barrages.....	8

Chapitre 2 : Les composantes stables du milieu physique

Introduction	10
1. La Topographie.....	11
1.1 Le relief	11
1.1.1 Les montagnes	11
1.1.2 Les piedmonts	11
1.1.3 Les hautes plaines	11
1.2 Les pentes	12
2. Aperçu géologique du bassin versant.....	14
2.1.1 La stratigraphie.....	14

3. La lithologie	15
4. La perméabilité.....	16
5. La morphometrie	16
5.1 Indice de compacité de Graveluis.....	17
5.2 Hypsométrie.....	17
5.2.1 La courbe hypsometrique	18
5.2.2 Le rectangle Equivalent	19
5.3 Les indices de pente.....	19
5.3.1 Indice de ROCHE	20
5.3.2Indice de pente globale	20
5.3.3 Dénivelée spécifique.....	21
5.4 Les paramètres hydrographique	21
5.4.1 Densité de drainage ' Dd '.....	23
5.4.2 Le profil en long	23
5.4.3 Coefficient de torrentialité	24
5.4.4 Le temps de concentration Tc.....	24
6. Sols et occupation des sols.....	26
6.1 Le sol	26
6.1.1 Lithosols et régosols	26
6.1.2 Sols D'apports alluviales	26
6.1.3 Sols peu évolués d'apports colluvial	26
6.1.4 Sols calcaire	26
7. Occupation des sols	27
7.1 Couverture dense (forêt).....	24
7.2 Etat dégradé (Maquis).....	23
7.3 Etat très dégradé (parcours steppiques).....	25
7.4 Etat très dégradé à sol nu	27
CONCLUSION.....	28

Chapitre 3. Les flux climatiques

Introduction	29
1. données pluviométriques	29
1.1 Détection et Correction des erreurs.....	30
1.2 Comblement de lacunes.....	30
3. Evaluation de la lame d'eau précipitée	33
3.1. La moyenne arithmétique.....	34
3.2 Méthode de Thiessen.....	34
4. Précipitation mensuelle et le régime saisonnier.....	34
5. Etude statistique des pluies Annuelles.....	35
5.1 Test d'adéquation d'une loi théorique ; Test du χ^2	38
5.2 Coefficient de variation et de régularité des pluies annuelles	42
5.3. Les précipitations journalières	42
5.4 Estimation des pluies de courte durée.....	40
6. Les termes du bilan hydrique	40
6.1 L'évapotranspiration	30
6.1.1 Calcul d'ETP	41
Formule de Thornthwait	32
6.1.2 Calcul d'ETR	42
a. Formule de TURC.....	42
b. Formule de WUNDT.....	42
c. Formule de M. COUTAGNE.....	42
6.2 Le Bilan Hydrique	49
6.3 L'équation du BILAN YHDRIQUE.....	49
6.3.1 Le Ruissellement de surface.....	49
7. Ecoulement moyen annuel du bassin versant d Oued El Arab.....	50
7.1 Distribution statistique des débits annuels	50
7.1.1 Ajustement à la loi de GUMBEL	50
7.1.2 Ajustement à la loi de GALTON	51
7.1.3 Test d'adéquation (χ^2)	51
8. Calcul des crues par des formules empiriques.....	53
8.1 Formule de Mallet et GOUTHIER	53
8.2 Formule de Turazza	53

8.3 Formule de POSSENT	54
8.4 Formule de GIANDOTTI	54
8.5 Formule de SOKOLOVSKY.....	55
9. Hydro gramme des crues	56
9.1 Description d'un cours d'eau.....	56
Conclusion	57

**Chapitre4. Quantification empirique de L'érosion hydrique
et évaluation de la pérennité du barrage Babar**

Introduction.....	58
1. Méthodes et formules d'évaluation des apports solides et liquides.....	58
1.1 Les Apports liquides	58
1.1.1 Formule de SAMIE.....	58
1.1.2 Formule de MALLET.....	59
1.1.3 Formule de J. DERY.....	59
1.1.4 Formule de COUTAGNE	59
1.1.5 Formule de SOGREAH.....	59
1.1.6 Formule de MEDINGER (Taïbi, 1989)	59
1.2 Les apports solides	60
1.2.1 Formule de TIXERONT 1960.....	60
1.2.2 Formule de SOGREAH 1969.....	61
1.2.3 Formule d'ANRH.....	61
1.2. 4. Formule de fournier.....	61
1.3 Cartographie de la sensibilité à l'érosion.....	62
1.3.1 Calcul de l'érosivité des pluies.....	62
1.3.1. 1 Indice d'érosivité de fournier IF	62
1.3.1.3 Calcul de l'érodibilité 'E' de fournier 1960.....	62
1.4 Estimation du taux d'envasement.....	63
1.4.1 Calcul de la concentration en crue.....	63
1.4.2 Calcul du volume mort du barrage	63
2. Résultats et discussion.....	64
1.2 Les Apports liquides	64

2.2 Les Apports solides	64
2.3 Cartographie de la sensibilité à l'érosion.....	65
2.3.1 Indice d'érosivité Arnoldus 'IFA'	65
2.3.2 Etude des corrélations.....	66
2.4. Estimation du taux d'envasement (La pérennité de l'ouvrage)	70
2.4.1.2. Calcul de la concentration solide annuelle	71
2.4.2 Calcul du volume mort du barrage.....	71
Conclusion	72

Chapitre 5. Plan d'aménagement et perspectives

INTRODUCTION.....	73
1- Fossé de sédimentation	73
2- Murettes	74
3- Les banquettes	75
4- La lutte contre le sapement des berges.....	76
a- Les épis	77
b- Le gabionnage	78
5- La restauration des ravines.....	79
6 - La protection de la cuvette du Barrage	79
7 - Une gestion optimale du barrage	80
8. Le reboisement	81
9. Proposition d'aménagement technologique et logistique du barrage.....	82
CONCLUSION.....	82
CONCLUSION GENERALE.....	83

LISTE DES FIGURES

Fig n° . 1 : Situation des barrages les plus touchés par l'envasement	08
Fig n° .2 : Localisation géographique du bassin versant d'Oued El-Arab Babar.....	10
Fig n° .3 : Coupes topographiques du bassin d'oued El Arab au site du barrage Babar	12
Fig n° .4 : Bassin versant Oued El-Areb ; Courbe hypsométrique et histogramme de fréquence.....	18
Fig n° .5: Le Rectangle équivalent du bassin versant oued El-Arab	78
Fig n° .6 : Le Profil en long Du Talweg Principal.....	23
Fig n° .7 : Courbes des doubles cumuls	78
Fig n° .8: Comblement des lacunes par la méthode de régression linière.....	79
Fig n° . 9: La distribution des précipitations annuelles	31
Fig n° .10 : Polygone de Thiessen.....	79
Fig n° .11: régime mensuels des précipitations (1971/2004)	34
Fig n° .12 : pluies saisonnières (1971/2004).....	35
Fig n° .13: Ajustement de loi de Gauss aux précipitations annuelle	80
Fig n° .14: Ajustement de la loi de Gumbel aux pluies journalières extrêmes.....	42
Fig n° .15: pluie de courte durée.....	36
Fig n° .16: Abaque de Verdiel.....	85
Fig n° .17 : Abaque de Wundt modifié Par Coutagne.....	85
Fig n° .18: Ajustement à loi de Guemebel et Galton aux débits annuels.....	50
Fig n° .19: L'Hydro gramme de la crue.....	55
Fig n° .20 : Estimation des indices d'érosivité des pluies.....	86

LISTE DES CARTES

Carte n° .1: Bassin versant Oued El-Areb ; Les Altitudes.....	85
Carte n° .2 : Bassin versant Oued El-Areb ; Les Pentes.....	13
Carte n° .3 : Bassin versant Oued El-Areb ; Lithologie.....	85
Carte n° .4: Bassin versant Oued El-Areb ; Réseau hydrographique.....	86
Carte n° .5 : Bassin versant Oued El-Areb ; La pédologie.....	87
Carte n° .6 : Bassin versant Oued El-Areb ; L'occupation du Sol.....	87

Carte n°.7 : Bassin versant Oued El-Areb ; Indice d'érosivité Wischmeier ' R '.....	57
Carte n°.8 : Bassin versant Oued El-Areb ; Indice d'érosivité ' E '.....	57
Carte n°.9: Bassin versant Oued El-Areb ; Indice d'érosivité fournisseur ' IFA '.....	58
Carte n°.10 : Bassin versant Oued El-Areb ; Indice d'érosivité Arnoldus 'IF '.....	58
Carte n°.11 : Bassin versant Oued El-Areb ; carte de synthèse d'érosivité des sols	59
Carte n°.12: Bassin versant Oued El-Areb ; Propositions d'aménagement	73

LISTE DES TABLEAUX

Tab1 : L'état d'envasement des barrages algériens	05
Tab 2 : Dégradation spécifiques dans quelques bassins versants algériens	05
Tab n°.3 : Bassin versant d'oued El -Arabe ; Classes des Pentes.....	13
Tab n°.4: La résistance des formations lithologique du bassin versant d'oued El-Arab à l'érosion.....	15
Tabn°.5 : la perméabilité des formations du bassin versant d' Oued El-Arab.....	16
Tab n°.6 : Classes d'altitudes du bassin versant d'oued El-Aral.....	18
Tab n°.7 : La classification de l'ORSTOM.....	21
Tab n°.8 : Classification du cours d'eau.....	22
Tab n°.9: Récapitulation des caractéristiques morpho métriques du bassin versant	25
Tab n°.10 : Occupation des Sols du bassin versant Oued El-Arab.....	28
Tab n°.11: paramètre de corrélation du comblement des lacunes.....	31
Tab n°.12: Précipitation annuelle pour les mêmes séries d'observation.....	00
Tab n°. 13: pluies annuelles des stations d'étude (1971/2004).....	00
Tab n°.14: Les années humides et sèches des stations d'étude.....	32
Tab n°.15 : Répartition mensuelle des précipitations.....	34
Tab n°.16: Précipitations saisonnières (1971-2004).....	35
Tab n°.17: Différents paramètres de Test du χ^2	41
Tab n°.18: Précipitation extrêmes de la station Babar.....	81
Tab n°.19: pluies de courte durée (St. Babar).....	83
Tab n°.20 : ETP Mensuelles (St. Babar).....	37
Tab n°.21 : Bilan hydrique selon THORNTHWAITE (St. Babar).....	39
Tab n°.22 Tab n°.20 : Caractéristiques Empiriques des lois d'ajustement.....	83

Tab n° .23 : Récapitulatif des débits maximaux de crue à différentes fréquences et à différentes formules.....	45
Tab n° .24 : Débits maximums de différentes fréquences.....	00
Tab n° .25 : Récapitulatif des Résultats Empiriques de ‘Le et A obtenu.....	83
Tab n° .26 Les résultats calculés par des méthodes empiriques de la ‘Ds’.....	37
Tab n° .27 : Les résultats de calcul des indices ‘IF, IFA, E’.....	39
Tab n° .28 : Calcul de l’indice de Wischmeier ‘R’.....	55
Tab n° .29 : Résultats du calcul des indices d’érosivité ‘IF, IFA, E, R’.....	55
Tab n° .30 : Coefficient de corrélation entre les indices climatiques, pluies et altitudes.....	55

LISTE DES PHOTOS

Photo n° 1. Seuil de sédimentation en murettes de la pierre sèche.....	75
Photo n° 2. Seuil de sédimentations en Gabions et en pierres sèches	78
Photo n°3. Protection de la cuvette du barrage par gabionnage	79

LISTE DES SHEMAS

Schéma n° .1 : Classification du réseau hydrographique de Schum.....	22
Schéma n° .2 : Méthode de construction des seuils pour abaisser les pentes du versant (Soltner 1989).....	76
Schéma n° .3 : Protection des rives concaves avec des épis (brisé le coron d’eau) Soltner 1989.....	78
Schéma n° .4 : Comblement et végétalisation des jeunes ravines. (Mohamed Sabir, 2014).....	79
Schéma n° .5 : Dévasement du barrage par évacuation du fond.....	81

INTRODUCTION GENERALE

L'intérêt des barrages dans le monde est lié à la production d'énergie hydroélectrique et à la nécessité de stocker l'eau pour se prévenir contre la variabilité saisonnière ou interannuelle des écoulements (pour l'irrigation par exemple). Dans une moindre mesure, les barrages servent aussi à réduire les effets des inondations (J-L Payan, 2007). Afin de clarifier ce manuscrit, le terme de barrage signifié, selon UNESCO 2005, un ouvrage construit en travers d'une vallée, pour retenir l'eau ou constituer un réservoir (ou une retenue). Cependant, ce type d'ouvrage subit beaucoup de complication dues aux conditions climatiques et aux caractéristiques du milieu physique. L'envasement des barrages est l'une des conséquences, la plus dramatique, de l'érosion hydrique. Le phénomène de l'envasement des barrages est la conséquence de l'érosion et du transport solide. L'érosion hydrique est un phénomène complexe très répandue en zones méditerranéennes, touchant particulièrement les pays du Maghreb dont il menace gravement les potentialités en eau et en sol.

En matière de quantité, l'infrastructure hydrotechnique algérienne, forte de 73 grands barrages, d'une capacité de 7 milliards de m³ est amputée annuellement d'une capacité de 45 millions de m³ (Remini, 2005). Selon Demmak, 1982 environ 180 millions de tonnes sont arrachés annuellement des bassins versants par le ruissellement dans le nord de l'Algérie.

La mobilisation des ressources hydriques est l'une des priorités nationales en raison de la rareté de l'eau et de son caractère précieux. Malheureusement tous les effets consentis par l'état en termes d'ouvrage d'emménagement sont réduits considérablement à cause des apports solides aux droits de ces ouvrages. Portant, la construction de nouveaux barrages et le recours au dessalement, l'Algérie enregistrera un déficit en eau de 1 milliard de m³ d'ici l'an 2025(Rimini, 2010).

Au niveau des régions semi arides, l'envasement des barrages est l'une des caractéristiques les plus affirmées, en raison de l'hostilité climatique, le caractère torrentiel des écoulements et le couvert végétal réduit. Les processus érosifs ont des répercussions à de nombreuses échelles spatiale et temporelle. D'un point de vue géomorphologique (échelles typiques de l'ordre du million d'années et de la centaine de millier de kilomètres), la dynamique des matières transportées dans les réseaux hydrographiques joue un rôle fondamental dans la gestion des bassins versants. Elle est en effet responsable des variations de morphologie des lits des rivières et joue donc un rôle dans celles des bassins versants.

Ces processus érosifs sont responsables de la pérennité des retenues d'eau. L'érosion des sols est une problématique d'intérêt. Beaucoup d'études ont souligné la nécessité de prendre des mesures contre cet état.

Actuellement, il n'existerait pas de méthode d'estimation préalable du phénomène de l'envasement, qui fait l'unanimité des chercheurs vu sa complexité et le nombre important de facteurs qui sont mis en jeu. Le transport solide et le sapement de berges ; sont les facteurs majeurs du processus de l'envasement des barrages.

C'est dans ce contexte que notre travail porte sur l'estimation du taux d'envasement du barrage à travers l'évaluation de l'érosivité des sols.

Au niveau du sous bassin versant amont de l'Oued El Arab, au site du barrage Babar – Khenchela qui appartient au grand bassin fermé du Chott-Melrhir, et draine le versant Sud-est du massif des Aurès qui constitue l'extrémité Est de l'Atlas. Nous avons estimé les apports solides, en revanche, nous avons étudié la dynamique des milieux, tant sur le plan géomorphologique, que sur le plan hydro climatique.

En Algérie, plusieurs formules et modèles ont été adoptées pour calculer l'érosion ou le transport solide tel que le modèle de Wischmeier (USLE), de Fournier, Arnoldus, ou celui de Tixeront et Sogreah. Dans cette recherche, nous avons effectué une analyse aussi précise que possible avec une approche quantitative et numérique qui débouchera sur des propositions concrètes en termes d'aménagement et de traitement de l'impluvium.

La thèse se compose de cinq (5) chapitres, à savoir ;

Un aperçu sur l'état de l'air d'érosion, envasement en Algérie ;

Une étude analytique générale aux composantes stables du milieu physique du bassin versant amont d'el Oued El arab au site du barrage Babar est leurs accessibilités au phénomène (risque) d'érosion hydrique ;

Une analyse statistique qui permettra des corrections convenables et une homogénéisation des données des séries pluviométriques ainsi qu'une évaluation des variables et leurs aspects fréquentiels ;

L'évaluation et la quantification empiriques de l'érosion hydrique par différentes méthodes (Fournier ' IF, Arnoldus et Fournier IFA (1960), Wischmeier 'R '(USLE) établie par Renard et al 1997 ; vise à cartographier, spatialisation des degrés d'érodibilité du terrain à travers le sous bassin versant amont d'el Oued El Arab, dont nous avons créé une carte du risque érosif pour le site d'étude. Cette technique offre la possibilité de connaître les quantités de sol en tonne par hectare pouvant être détachées annuellement dans un secteur donné du bassin versant et l'estimation du taux d'envasement du barrage de Babar par l'apport de

concentration solide et sa transformation en volume de sédiment dans l'ouvrage hydrique (volume mort) ;

En fin, un plan d'aménagement et perspectives du sous bassin versant amont d'El Oued El Arab, pour minimiser au maximum le risque d'érodibilité de ces terrains et lutter contre l'envasement du Barrage.

Chapitre 1

Aperçu sur l'état de l'art d'érosion, envasement en Algérie

Introduction

Les effets catastrophiques de l'érosion hydrique des sols ont été étudiés par plusieurs chercheurs, parmi lesquels et les plus récents (Remini 2000 et 2003 et Le Boissonnais, 1998 et 1999.. etc.). En effet, l'érosion ou le transport hydrique est la conséquence des phénomènes naturels qu'anthropiques, qui consiste aux matériaux arrachés au bassin d'alimentation et au réseau d'écoulement, leurs dépôt soient dans les infrastructures hydrauliques et hydro-agricoles (Touaibia, 2010). Nous notons que l'érosion géologique qui est appelée érosion naturelle ou normale engendrée par l'eau de pluies sous forme liquide, solide, l'écoulement des eaux. Et l'autre est appelé l'érosion accélérée, dont le principal responsable est l'activité anthropique, notamment la déforestation, l'agriculture, le pâturage et la construction (El-Swaify et al. 1983). L'accélération et l'ampleur de l'érosion hydrique est due à l'action de plusieurs facteurs qui sont particulièrement le climat, la lithologie, la pente du sol, la couverture végétale et le mode d'exploitation du milieu naturel (Wischmeier et al, 1978). Ce phénomène, est caractéristique dans la région du Maghreb dont les potentialités en eau et en sol sont sérieusement menacées (Touaibia et al., 2001; Terfous et al., 2003; Achite et al., 2005). A l'échelle de l'Algérie le Ministère de l'environnement et l'aménagement du territoire en 2000 a déclaré que le pays est menacés par l'érosion, L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, est la région la plus érodée du pays ; viennent ensuite les régions du Centre (27%) et ensuite la région de l'Est (26%). En 2010, le Ministère de l'environnement et l'aménagement du territoire a également affirmé que les zones exposées aux risques de dégradation dus à la désertification et à l'érosion hydrique sont estimées à $5 \cdot 10^5$ km² ce qui représente plus de 20 % de la surface totale du pays qui est de l'ordre de $28,3 \cdot 10^5$ km². En conséquence, $1,4 \cdot 10^5$ km² de zones de montagne au Nord sont touchés par l'érosion hydrique, $3,2 \cdot 10^5$ km² en zones steppiques sont directement menacés par la désertification et $4,1 \cdot 10^4$ km² de forêts soumises aux menaces induites par les effets des changements climatiques. Selon Remini, (2017) au niveau de l'ensemble des barrages étudiés en Algérie, l'envasement a atteint 1,7 milliards de m³ dans les 74 barrages pour une capacité de 8,5 milliards de m³ d'eau. Soit une perte de capacité de 20%. Le taux d'envasement a atteint 65 millions de m³ /an. Toutefois, l'Etat face à cette problématique par la lutte anti-érosive depuis plusieurs années, mais les terres continuent de se dégrader et les barrages à s'envaser rapidement (Benaïcha 2011). En Algérie, de nombreux chercheurs ont développé des relations

liant le transport solide aux facteurs géomorphologiques et climatologiques pour certains bassins Algériens (Achite et Meddi, 2005 ; Touaibia et al., 2001 ; Benkhaled et Remini, 2003). Par contre, Demmak (1982) et Meddi et al. (1998) ont développé des modèles d'estimations de la dégradation spécifique pour l'Algérie septentrionale. Dans ce chapitre nous avons élaboré une revue bibliographique de l'état des barrages par régions au niveau de l'Algérie par ce que la pérennité des ouvrages hydraulique en Algérie est une question d'actualité.

Tab1.1 : L'état d'envasement des barrages algériens (Remini .2005)

Barrage	Mise en eau	Capacité Initiale (10 ⁶ m ³)	Envasement moyen annuel (10 ⁶ m ³ /an)
	Année	Mm ³	M m ³
OUED FODDA	1932	228	2.66
GHRIB	1939	280	3.2
DJORF EL TORBA	1934	350	1.3
S.B.M.A	1978	235	1
LACHEFFIA	1965	175.68	0.17
EGHIL EMDA	1953	154.8	1.6
BOUHANIFIA	1944	73	0.78
BENI BAHDELS	1940	63	0.2
BAKHADA	1936	37.6	0.27
FOUM EL GHERZA	1950	47	0.8
ZERDEZAS	1936	14.9	0.25
HAMIZII	1935	21	0.35
FOUM EL GUEISS	1939	3	0.03
OOLED MELLOUK	2004	127	1.4

Tab 2.1 : Dégradation spécifiques dans quelques bassins versants algériens Kazi T H A (2019)

Région d'étude	Auteur	Dégradation spécifique t/km ² /an)	Période	Surface (Km ²)
Oued Isser (Tafna)	Bouanani (2004)	180,32	(1988-1998)	1140
Oued Sikkak	Bouanani (2004)	279	(1972-1990)	463
Oued Chellif Ghrib	Chetta et Nekki (2017)	2541	(1977-1994)	1378,65
Oued Sebdou	Terfous et al (2003)	618,75	(1989-1998)	694,75
Oued Bellah	Elahcen et al (2013)	610	(1974-2007)	55
Oued Mazafran (Cotier Algérois)	Bourouba (1997)	1610	1 sept au 31 Aout 1975	427,5
Oued Abed	Achite et al (2007)	136	(1973-1995)	2480
Oued Mekerra	Cherif et al (2009)	111,19	(1988-2001)	14750
Oued Saida	Yles et al (2012)	55	(1980-2010)	543
Oued Boumessaoud	Bouguerra et al (2016)	518	(1988-2004)	118
Oued Haddad	Achite et Meddi (2005)	212	(1973-1995)	470
Oued Mouilah	Ghenim et al (2007)	165	(1973-2002)	2650
Foum el gharza	Fartas et al (2017)	2764	(1971-1994)	1300
Oued Sébaou	Achit et al (2016)	147,32	(1968-1999)	2500

1. Etat sur les recherches effectuées sur le transport hydrique en Algérie

Les bassins-versants algériens confrontent au phénomène de l'érosion, l'érosion hydrique est la forme la plus répandue. Elle s'est produite par deux éléments qui sont la résistance des sols et de l'agressivité climatique. Les conséquences de l'érosion répercutent sur la dégradation des sols agricoles et l'envasement des barrages des. (Meddi. 2015). Au niveau des barrages, le transport hydrique des sédiments se fait sous deux formes par charriage et en suspension. Le débit charrié dans les retenues Algériennes est estimé entre 10 à 15 % du débit en suspension. Les concentrations d'éléments en suspension des oueds Algériens dépassent souvent les 100 g/l surtout pendant les premières pluies d'automne (Remini. 2005). En terme quantitative, l'Algérie occupe la première place au niveau du Maghreb avec 114 barrages, d'une capacité totale de stockage de 5.2Milliard de m³. La capacité perdue par envasement en moyenne chaque année est de 32Millions de m³ (Remini. 2005).

2. Les études effectuées sur l'état des barrages au Nord- Centre de l'Algérie

Ces dernières années beaucoup de chercheurs s'intéressaient à l'étude de l'efficacité des œuvres hydrauliques construites par l'Etat pour assurer un développement durable de l'agriculture et de l'industrie en Algérie. L'Algérie du Nord reste soumise à de fortes pressions humaines qui ont engendré une sévère dégradation du couvert végétal et des sols. On estime à plus de 20 millions d'hectares de terres touchées par l'érosion particulièrement dans les zones où sont implantés plus de 90% d'ouvrages hydrauliques et où vivent environ 40 millions d'habitants (Mazour, 1992). Les zones de montagne restent les plus touchées par l'érosion. Tadrict et al. (2016) ont étudié la problématique en question au niveau du barrage de Boukourdane. Ils ont trouvé que le taux d'érosion spécifique des sols, aussi appelé taux de dégradation spécifique des sols, a été évalué à 366 T/Km²/an pour la période de 1993 à 2005. L'augmentation de la fréquence des pluies exceptionnelles se traduit par une augmentation du taux d'érosion des sols à 446 T/Km²/an (+ 22 %) pour la période de 1993 à 2013. Ces valeurs correspondent à des volumes de vase accumulés au droit du barrage respectivement de 8·10⁴ m³·an⁻¹ et 11·10⁴ m³·an⁻¹.

3. Les études effectuées sur l'état des barrages à l'Est de l'Algérie

La problématique d'envasement des barrages au niveau de l'Est de l'Algérie est aussi importante, nous présentant à l'instar l'ampleur de cette question au niveau du barrage de la

Fontaine des gazelles. Hafi (2021) a estimé l'envasement annuelle du Fontaine des gazelles, à travers une évaluation de l'érosion de bassin d'Oued el Hai, à environ 0,25million de mètres cubes étaient déposés annuellement sur la base de lève bathymétrique réalisée par Agence National des Barrages. La valeur moyenne des 21 ans de dégradation spécifique des sols 238,97 T/Km²/an. Mais on trouve dans l'étude de l'ANRH 1982 la dégradation spécifique des sols est de 181 T/Km²/an; ainsi que l'étude de DEMRH (Direction des études du milieu et de la recherche hydraulique) 1973, dégradation spécifique des sols est de 200 T/km²/an à El-Kantara. Mais en réalité la valeur de 238,97 T/Km²/an n'exprime pas l'apport solide moyen des 21ans car il y a des lâchées par la vidange de fond ($V = 22,87 \text{ Hm}^3$). Pour raison le levé bathymétrique qui a été effectué en 2004, par GEOID (société française) montre que le volume des dépôts est de 0,768 hm³ pendant 04ans après la mise en service du barrage. Soit un taux d'envasement moyen annuel de 0,25millions de m³/année. Ce qui laisse le barrage de fontaine des gazelles en exposition au risque d'envasement rapide. Toutes ces propositions permettent de minimiser l'érosion dans le bassin versant de Oued El-Hai et donc assurer une durée de vie optimale du barrage de fontaine des gazelles et un développement durable dans la zone d'étude. D'après l'étude de Boubakeur et Lakhal (2021) au niveau du bassin versant l'oued Medjerda au nord-est de l'Algérie, le barrage d'Ain Dalia (Souk Ahras) a une capacité de 84 millions de m³ en 1986 et n'était plus que de 70 m³ en 2018. Durant les 32 ans d'exploitation, soit un volume de vase égal à 16.10⁶m³. Selon Ouanassi M et Salhi M(2021) L'état du barrage de Foug El Gueiss situé à l'Ouest de Khenchela est alarmant, vu le taux d'envasement qui est estimé presque à 100%. Ce barrage a une capacité réelle de plus de 2 millions de mètres cubes, il est destiné à l'irrigation de la haute plaine de R'emila.

4. Les études effectuées sur l'état des barrages à l'Ouest de l'Algérie

Selon l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) Tlemcen, les apports solides annuels au niveau du bassin versant du barrage Meffrouche, sur une période allant de 1990 à 2014 a eu une variation importante durant toute la période d'observation, avec un apport maximal enregistré en 2008-2009 de 13678 t.an-1 et une dégradation spécifique maximale de 153 T/Km²/an, des valeurs qui dépassent environ 4 fois les moyennes interannuelles respectivement de 3496 t.an-1 et 39 T/Km²/an. Les zones vulnérables à l'érosion hydrique et à la perte des sols, par l'équation de Wischmeier et qui donne une approche quantitative sur l'érosion en nappe la moyenne était de 500 T/Km²/an, valeur

nettement plus faible que celle trouvée pour les bassins voisins de la Tafna et les autres bassins algériens. C'est un bassin essentiellement carbonaté en état de vieillesse mais il reste que les quantités transportées par l'oued sont trop variables d'une saison à l'autre. L'Automne et le Printemps sont les saisons où le transport solide en suspension est le plus important, les crues jouent un rôle important sur l'érosion et les transports fluviaux. Le taux du transport solide fléchit en Hiver et régresse à son minimum en Eté. (Kazi Tani Hicham Abdesslam , 2019). Cependant, Le barrage d'Ouled Mellouk est situé dans le bassin versant du Zeddine au niveau de la wilaya d'Ain Defla, L'estimation des apports solides au réservoir est de $1150 \text{ m}^3 / \text{an}/\text{km}^2$, ou environ $1 \text{ million m}^3 / \text{an}$, ce qui implique un volume mort de la retenue d'environ 40% de son volume total. Addad(2017)

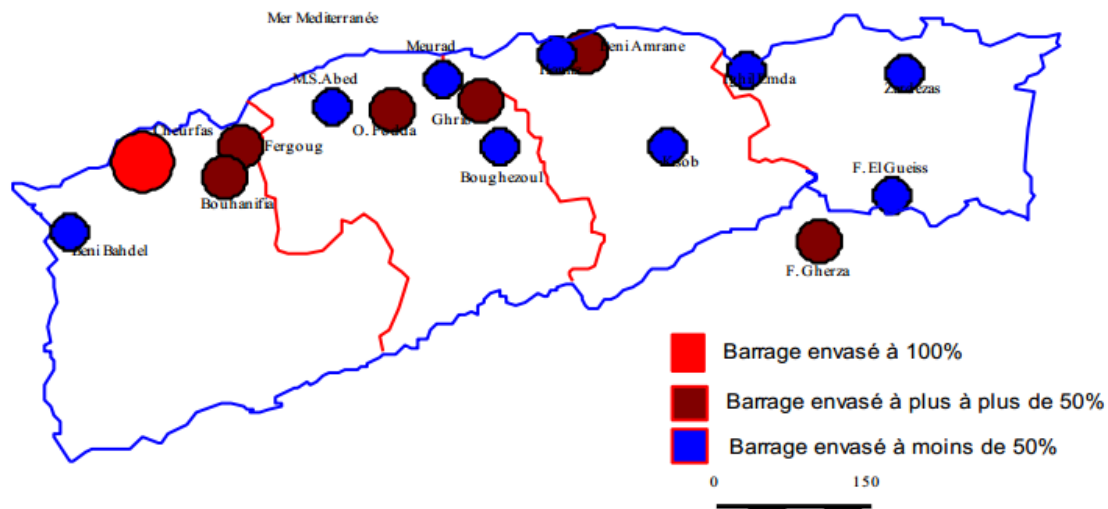


Fig n°1 : Situation des barrages les plus touchés par l'envasement (Remini B. 2005)

5. Dévasement des barrages

La plupart des barrages ont été affectés par un envasement précoce de leurs retenues et d'autre part, l'effet du changement climatique a engendré des crues importantes que celles prévues, Le dévasement des barrages est une action importante afin de prolonger la durée d'exploitation des barrages, les services de l'Agence nationale des barrages et transferts (ANBT, 2021) déclare que le dévasement est en cours d'exécution, au niveau national visant à extraire une quantité totale de 38 millions de m^3 de vase, ont indiqué, 9 barrages sont

concernés par cette opération inscrite dans le cadre de la quatrième campagne nationale de dévasement prévue sur la période 2019-2024. L'opération concerne les barrages de Fergoug et Bouhanifia (Mascara), Foum El Gueiss (Khenchela), K'Sob (M'sila), Zardzas (Skikda), Djorf Torba (Béchar), Merdja Sidi Abed (Relizane), El Hamiz (Boumerdès) et le barrage Ghrib (Ain Defla). Selon le rapport de l'agence, le volume perdu par envasement des barrages est estimé en 2020 à 1279,26 millions de m³ soit 16,4 % de la capacité totale initiale de stockage qui est de l'ordre de 7754,83 millions de m³. Cet envasement, selon des estimations prévisionnelles de l'agence, atteindrait, en 2025, un volume de 1400 millions m³ pour les seuls barrages existants, soit 18,05 % de la capacité globale d'emmagasinement d'eau. Les services de l'ANBT ont relevé également que l'ensemble des barrages à envasement avancé ont déjà à leur actif plus de 50 années de services et se situent dans des zones ouvertes qui ne sont pas boisées à l'instar du barrage de M'sila. En effet, l'ANBT a initié depuis janvier 2021 une opération de reboisement de plus de 300.000 arbres autour des versants immédiats des bassins en vue d'éviter l'érosion des sols. Le dévasement des barrages fonctionnels ou asséchés est très coûteux et il nécessite la mobilisation des moyens d'aspiration, de refoulement, des bateaux, des pelles et d'une importante flotte de camions pour effectuer les différentes techniques de dévasement (dragage, surélévation et soutirage des courants de densité). Cependant Ouamen et al (2022) ont évoqué la possibilité de réaménagement de l'évacuateur de crues par le surélever du seuil du déversoir pour augmenter la capacité de stockage et allonger la longueur de sa crête pour augmenter la capacité d'évacuation des crues tout en maintenant le même niveau maximum de la retenue. Cette technique permettra la récupération d'au moins 70 % de la capacité perdue par envasement.

Chapitre 2

Les composantes stables du milieu physique

INTRODUCTION

Un diagnostic des problèmes d'érosion exige une compréhension précise du fonctionnement de l'ensemble des facteurs qui constituent le géosystème en tant que vision globale du milieu physique. Pour cela, il est nécessaire de distinguer tout d'abord les éléments constants du milieu naturel favorisant le déclenchement des processus de l'érosion dans la zone étudiée qu'est le bassin versant de l'Oued El-Arab. Il appartient au grand bassin fermé du Chott-Melrhir et draine le versant Sud-Est du massif des AURES qui constitue l'extrémité Est de l'Atlas Saharien figure n°.2.

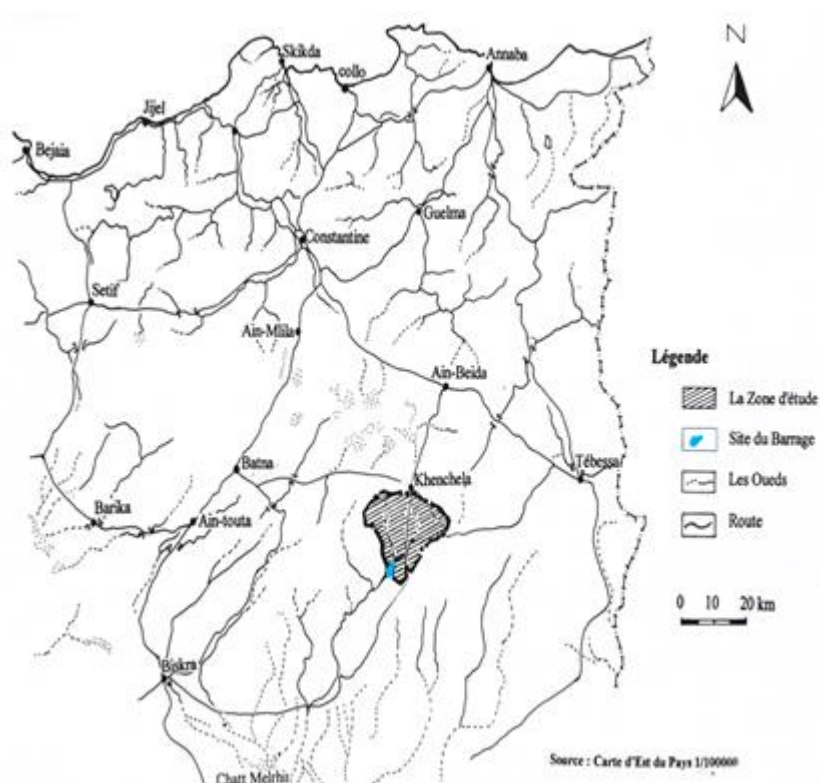


Fig n°.2 : Localisation géographique du bassin versant amont d'Oued El-Arab

D'une surface de 567km², le périmètre ou bassin d'étude est un sous bassin de la partie amont de l'Oued El-Arab portant le nom de l'Oued – Abiod et est délimité par :

- Les montagnes des Aurès dont les principaux sont (Dj – Chenntgomma, Dj- Aidel), au Nord – Ouest, Djebel – Tadelist, Djebel- Bouzendag à l'Est et Sud –Est.
- La plaine de Khenchela au Nord et Nord –Est.

Il se situe exactement entre les méridiens de longitudes 6°55' et 7°13' Est et les parallèles de latitude 35°10' et 35°22' Nord.

Entre les deux ensembles physiques de montagnes d'orientation Sud. Ouest –Nord. Est, s'intercale une vaste plaine appelée haute plaine de Djehfa, drainée par des Oueds secondaires (O. Tamagra, O. El Hatiba...) qui se rejoignent en forment O. El- Arab, juste avant le site du barrage.

1. La Topographie

Les différents paramètres topographiques reflètent souvent la réponse du Bassin versant sur la mobilité des matériaux; notamment sur l'accélération de la pesanteur.

1.1 Le relief

L'examen de la carte topographique. 1, (voir annexe), les coupes topographique figure .3, fait apparaître les unités suivantes :

1.1.1 Les montagnes

Elles se situent à l'extrémité Nord-Ouest du bassin versant et qui s'élèvent à des hautes altitudes à savoir : le Djebel Chenntgomma 2115 m, Djebel Bazzaz et le Djebel Aidel. Elles se trouvent d'une part, sur le prolongement de la chaîne montagneuse des Aurès et d'autre part, au centre du bassin correspondant au (djebel Djahfa 1707m. Leurs altitudes s'atténuent de plus en plus vers l'Est et vers le Sud, là elles se relier aux montagnes des Nemamcha représentés par le djebel Tadelest et le djebel Sguiguine, le djebel Bouzendag culminant à 1502 m.

1.1.2 Les piedmonts

Ils constituent la zone de transition entre les montagnes et les zones basses se trouvant au Sud-est et Nord-ouest entre les altitudes 1200-1400m (voir carte 2 annexe). Ils occupent 19, 75% de la surface totale du bassin et sont caractérisés par un profil irrégulier en particulier, dans ces conditions en attendant une dynamique active.

1.1.3 Les hautes plaines

Elles s'intercalent entre les deux chaînes montagneuses du bassin versant sur des altitudes de moins de 1200m jusqu'au site du barrage, dont le nom plaine de Djahfa. Elles sont drainées par un réseau hydrographique très important tel que l'Oued Hatiba et Oued Tamagra.

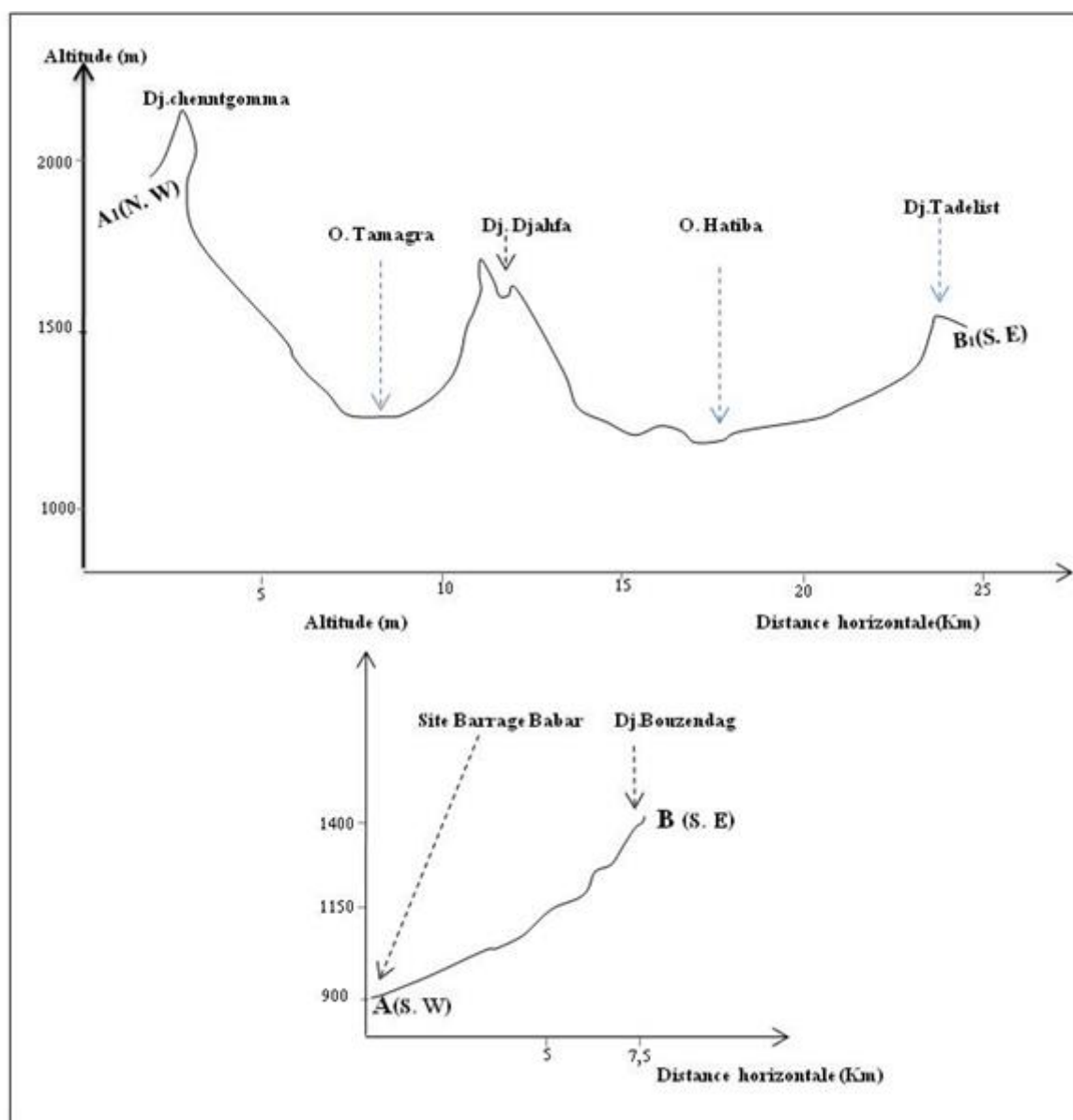


Fig. n°.3 : Coupes topographiques du bassin d’oued El Arab au site du barrage Babar

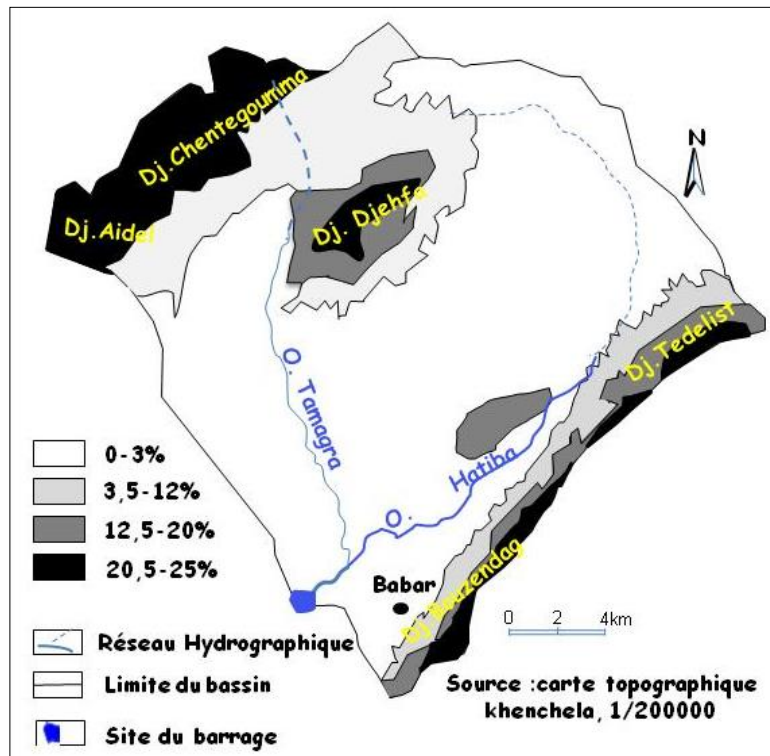
1.2 Les pentes

Le rôle de la pente est net dans tous les mécanismes d’érosion ; 93,8 T/Km²/an sur pente forte contre 18,7 T/Km²/an sur pente faible selon Alain Marre. Ainsi que Hudson (1971) a trouvé que la perte de sol (E) augmente plus vite que l’inclinaison de la pente (S) selon la relation : $E = S^a$ où: $1,3 < a < 1,5$

On prend la moyenne de l’intervalle $a = 1,4$. A partir de la carte des pentes.2, nous avons extrait les classes des pentes et calculé la capacité érosive de la pente selon Hudson (1971); qui sont représentées dans le tableau .3.

Tab n° 3 : Bassin versant d'oued El -Arab ; Classes des Pentes

Classe de pente (%)	Surface (km ²)	Surface (%)	S _{moy}	S ^{1,4}
0-3	271	47,80	1,50	1,76
03,5-12	136	23,98	7,50	16,79
12,5 - 20	114	20.11	16,25	49,56
20,5-25	46	8,1	22,75	79,39



Carte n° 2 : Bassin versant d'oued El -Arab ; Les pentes

Les pentes faibles (0-3%) coïncident essentiellement avec les plaines et les terrasses fluviales ; occupant 47,8 % de la superficie totale du Bassin versant, avec une capacité érosive de la pente moyenne négligeable (1,76 t/ha). Par contre les pentes moyennes au niveau des piedmonts avec une surface de 23,98 % et une capacité érosive de la pente moyenne de la classe (3,5-12%) de l'ordre 16,79 t/ha. La classe (12,5-20%) de pente moyenne à forte occupant 20.11 % de la superficie totale du bassin versant, dans lequel l'indice érosif de la pente moyenne est de 49,56 t/ha.

Les pentes les plus fortes s'étalent sur les crêtes des hautes altitudes avec des surfaces restreintes de 8,1% ; où la capacité érosive de la pente dépasse 79 t/ha.

Enfin, on peut dire que le bassin versant de Oued El- Arab au site du barrage Babar est caractérisé par des pentes moyennes à fortes (44,01 %), ce qui augmente la capacité érosive des pentes entre (16,79 à 49,56 t/ha) ; sous cette condition, l'érosion peut être excessive.

Cette probabilité n'est pas fiable sans une connaissance précise de la nature des formations géologiques.

2. Aperçu géologique du bassin versant

Les Aurès ont fait l'objet d'étude par plusieurs géologues et en particulier Laffitte R. qui a réalisé l'esquisse géologique des Aurès en 1939 couvrant la région d'étude.

2.1 Analyse Litho-stratigraphique et Perméabilité

2.1.1 La stratigraphie

D'après l'inventaire dressé par R.laffite1939, la zone d'étude représentée par des faciès allant des terrains anciens jusque aux plus récents, « Entre le crétacé et le quaternaire».

- **les formations du crétacé :** La série du crétacé est largement développée dans les limites (N-W) et (S-E) de la région, C'est une série complète et continue, caractérisée par une variation de faciès et d'épaisseur, il est subdivisé par R. Laffite, 1939, comme si dessous :
- **Le Barremmien :** Il se présente au Nord –Ouest du bassin (Dj.Aidel) sous forme d'une petite tâche. Sa lithologie est constituée essentiellement de matériaux détritiques :calcaires, grés, calcaires gréseux, grés quartzeux, conglomérat et marnes vertes ou rouges.
- **L'Aptien :** Sa lithologie est caractérisée par la prédominance de faciès carbonatés, calcaires dolomitiques et dolomie comportant souvent des matériaux détritiques. On y trouve des bancs de marnes verts, rouges et de grés quartzeux.
- **L'Albien :** Les dépôts albiens diffèrent nettement des formations sous jacentes. A la base, on trouve des marnes bariolées intercalées de grés grossiers d'origine continentale ou lagunaire. Les calcaires, d'origine récifale, sont largement développés au sommet des montagnes N-W du bassin, où l'épaisseur de ces formations varie de 400 à 500 m.
- **Le Cénomaniens :** Il se manifeste sous forme d'une petite bande au sud des formations albiennes. Il est caractérisé par une faune abondante surtout à la partie supérieure de l'étage ,qui est le plus souvent marno- calcaire tandis que la partie inférieure est à dominante marneuse.

- **Le Turonien** : Il est représenté par des calcaires à rudistes et des marno - calcaires. L'épaisseur de l'étage varie de 100 à 300m dans les calcaires à rudistes ; atteint 800m et plus dans les faciès calcaires marneux. Il occupe une très petite surface au N-W du bassin, sous forme d'une bande parallèle à la formation du cénomaniens au sud.
- **Le Coniacien et le Santonien** : Ils se distribuent dans le bassin, en petites tâches surtout au sud et au nord-ouest du Dj.Djahfa .Ils sont constitués de formations marneuses et calcaires.
- **Le Campanien** : Il se manifeste dans les différentes parties du bassin surtout dans les limites sud. Là, il prends une bande parallèle à celle des faciès Mestrichtien. Il est formé généralement de marne noire ou **crayeuse**.
- **Le Mestrichtien** : Il se répand sur les limites S-E du bassin, sous forme d'une bande étendue de Dj.Tadelist à Dj.Bouzendag, ainsi qu'au sommet de Dj.Djahfa. Sa lithologie est de type calcaire et marneux.
- **Le Quaternaire** : En général, il est représenté par des alluvions formées de limon, argiles, graviers, galet et des éluviaux ; sur les terrasses basses des oueds et les plaines de Djahfa au centre du bassin .

3. La lithologie

Il est très important de savoir la nature des formations et leurs résistances à l'agressivité climatique. Sur la base de l'esquisse géologique des Aurès, nous avons réalisé la carte lithologique 3 (annexe) . Le classement des formations selon leurs résistances à l'érosion et ses répartitions spatiales conclues dans le tableau 4.

Tab n°.4 : La résistance des formations du bassin versant oued El-Arab à l'érosion

formations	Surface (km ²)	Surface (%)	La résistance
Calcaires gréseux	56	9,87	Résistante
Grés	15	02.64	
Marno- Calcaires	40	7,05	Moyennement résistante
Quaternaire	381	67,2	Non résistante
Marnes	75	13,22	

L'analyse des résultats obtenus montre une dominance des formations à faible résistance (80,42%); ce qui augmente leur vulnérabilité à l'érosion hydrique.

4. La perméabilité

L'expérience a montré que la perméabilité est très importante dans les études d'érosion, D'ailleurs la Sogreah en 1969 a trouvé une relation exponentielle entre l'apport solide spécifique et l'apport liquide en fonction de la perméabilité des bassins versants ($A = a R^N$) (cette relation basée sur les données de 27 bassins versants de l'Algérie de superficie entre 90 et 22300 Km²); dans les terrains perméables, le risque d'érosion provoqué par les écoulements est faible par rapport aux terrains imperméables.

Selon la nature des formations, nous avons groupées ces terrains dans des classes de perméabilité ainsi que les superficies enregistrées, dans le tableau 5 suivant :

Tab. n°5 : Bassin versant d' Oued El-Arab ; La perméabilité

Formations	Perméabilité	superficie	
		Km ²	%
Marnes	imperméables	75	13,22
Marno- Calcaires Grés Calcaires gréseux	faible Perméable	111	19,58
Quaternaire	Semi-perméable	381	67,2

Plus de la moitié (67,2 %) de la superficie du bassin versant des formations semi-perméables suivi par par celui des formations de faible perméabilité 19,58%, occupent les sommets des montagnes limitant le bassin versant du Sud -Est, Nord-Ouest. Par contre les formations imperméables qui représentant la plus petite superficie 13,22 % se situent dans le massif du Djahfa et au sud - Sud -Est du bassin avec un orientation NE/SO à partir du Dj.Bouzendeg jusqu'à Dj.Tadelist.

En général, le bassin versant de Oued El-Arab, au site du barrage Babar, est caractérisé par une perméabilité faible à moyenne.

5. La morphometrie

Les objectifs à atteindre consiste à calculer les indices physiographiques du bassin versant; pour mieux connaître le régime hydrologique et la dynamique des matériaux (érosion) ; avec une interprétation des résultats pour chaque indice.

5.1 Indice de compacité de Graveluis (indice de forme)

C'est la comparaison entre le périmètre du Bassin versant à celui d'un cercle de même surface. On différencie les bassins par l'importance de leur capacité, en bassins allongés et en bassins plus ramassés. Cet indice est défini par :

$$K_c = \frac{\text{périmètre.du.bassin}}{\text{périmètre.du.cercle.de.même.surface}} = \frac{P}{P_c} \dots\dots\dots(1)$$

Exprimons le périmètre du cercle en fonction de l'aire de sa surface, soit :

$$p_c = 2\pi R \quad \Rightarrow \quad p_c^2 = 4\pi^2 R^2 = 2\pi A$$

Donc :

$$p_c = \sqrt{2\pi A} \dots\dots\dots (2)$$

A : surface du cercle circonscrit au bassin versant

Il vient donc :

$$K_c = \frac{P}{p_c} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \dots\dots\dots(3)$$

Où ;

$$A = 567 \text{ Km}^2, \quad P = 95,24 \text{ km}$$

De cette relation on remarque que si K_C est grand le bassin versant est allongé, donc il a une faible compacité alors que s'il tend vers l'unité, le bassin est toujours allongé tout en se rapprochant d'un cercle mais avec une grande compacité qui influe sur le temps de concentration de la crue .

Le bassin versant ainsi étudié a la forme carrée avec un indice de forme $K_C = 1.12$.

5.2 Hypsométrie

Le relief joue un rôle primordial dans la détermination de la compétence de l'agent de transport des matériaux.

5.2.1 La courbe hypsométrique

La courbe hypsométrique Figure.4 est obtenue en portant sur l'axe des ordonnées les Altitudes et sur l'axe des abscisses l'aire partielle du Bassin ou la surface qui se trouve au-dessus des cotés d'altitude portée en ordonnées.

Tab n° .5 : Classes d'altitudes du bassin versant d'oued El-Arab

Classe d'altitude (m)	S_i (km ²)	S_i accu	S_i (%)	V_i (km ³)	$(a_i - a_{i-1})$ m	$b_i (a_i - a_{i-1})^{1/2}$
1000 >	40	–	7.05	20.00	100	02.64
1200 – 1000	336	07.05	59.25	369.60	200	10.86
1400 – 1200	112	66.30	19.75	145.60	00	6.16
1600 – 1400	41	86.05	07.23	61.50	200	3.74
1800 – 1600	22	93.28	03.88	37.40	200	02.44
1800 <	16	97.16	02.82	30.40	315	02.50
Total	76	99.98		664.5	–	28.34

L'analyse de la courbe hypsométrique nous montre que la tranche d'altitude dominante est comprise entre 1000 et 1200m d'altitude et correspond aux hautes plaines de Djebel Djahfa, ainsi qu'aux piedmonts de montagnes. Cette tranche représente environ 3/5 de la surface totale du bassin versant.

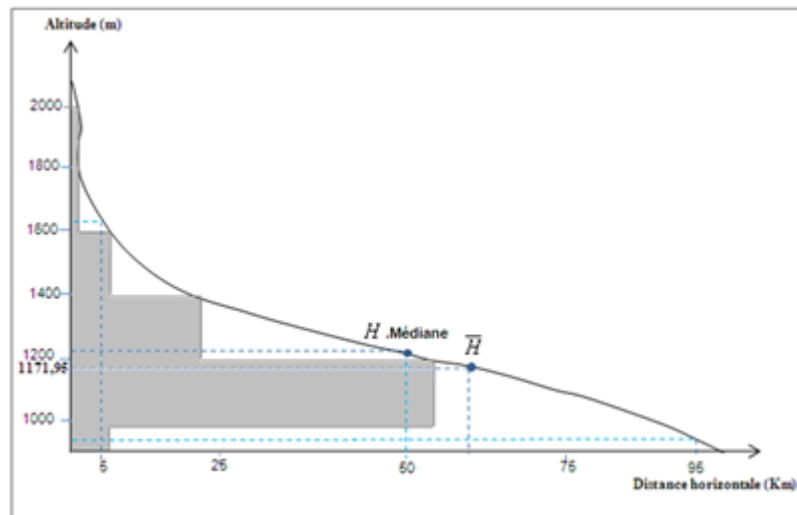


Fig n° .4 : Bassin versant d'Oued El-Areb ;
Courbe hypsométrique et histogramme de fréquence

✓ Altitude moyenne \bar{H}

L'altitude moyenne s'obtient en divisant le volume montagneux (V) par la surface du bassin versant. Ce volume est la somme des volumes partiels (V_i) de chaque tranche

d'altitudes. Il s'obtient en multipliant les surfaces partielles (s_i) par la moyenne arithmétique des altitudes des courbes qui les limitent respectivement h_i et h_{i+1}

L'altitude moyenne est donnée par la relation suivante :

$$\bar{H} = \sum_i \frac{V_i}{S_i} \dots\dots\dots(4)$$

$$V_i = S_i \times \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$

On obtient donc : $\bar{H} = 1171,95m$

5.2.2 Le rectangle Equivalent

Le rectangle équivalent de Mr. Roche figure. 4 (voir annexe) est défini comme étant le rectangle de mêmes paramètres géométriques de forme et d'hypsométrie que le bassin versant à étudier. Dans ce cas les courbes de niveau deviennent des droites parallèles au petits cotés du rectangle et l'exutoire du bassin versant assimilé à l'un des petites cotées. Si nous désignons par L et l respectivement la longueur et la largeur du rectangle équivalent et en tenant compte de l'équation (3), on déduit ainsi facilement ces deux grandeurs:

$$L = \frac{kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - (1.12/kc)^2} \right] \dots\dots\dots(5)$$

$$l = \frac{kc\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - (1.12/kc)^2} \right] \dots\dots\dots(6)$$

Comme on a : $Kc = 1,12$

Donc : $L = l = \sqrt{A} \Rightarrow L = 23,81km$

Plus cet indice sera proche de l'unité, plus le bassin aura une forme ramassée et plus le temps de concentration des eaux sera court ; ce qui est le cas du bassin versant amont de l'Oued l'Arab (site du barrage Babar).

5.3 Les indices de pente

L'objet de ces indices est de caractériser ,à partir de la courbe hypsométrique figure 3 :

- Les pentes d'un bassin versant ;
- Les paramètres de comparaisons et de classification.

5.3.1 Indice de ROCHE

Indice de pente de Mr Roche sert à déterminer la pente moyenne avec les données des bassins versant.

Il se détermine en basant sur le rectangle équivalent comme suit :

Si les lignes de niveau sur le rectangle équivalent sont cotées à partir de a_0 à l'exutoire $a_1 \dots$ et a_i , et en posant la distance entre a_{i-1} et a_i égale x_i , alors son expression est donnée par :

$$IP = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n x_i \sqrt{\frac{a_i - a_{i-1}}{2}} \dots\dots\dots(7)$$

Avec ; L : longueur du rectangle équivalent ;

x_i : distance entre les courbes de niveau a_i et a_{i-1} .

Si l'on désigne par b_i la surface de la fraction de la surface comprise entre les cotés: a_{i-1} et a_i alors l'équation (4) devient :

$$IP = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{b_i (a_i - a_{i-1})} \dots\dots\dots(8)$$

A partir du tableau.4, nous remplaçons ces termes par leurs valeurs et nous obtenons $IP = 5,81$

5.3.2 Indice de pente globale

Cet indice sert de base à une classification pour les bassins versants dont la surface et de l'ordre de 25km², il est défini comme le rapport entre la dénivellation simple à la longueur de rectangle équivalent, soit :

$$IG = D/L \dots\dots\dots(9)$$

D : La dénivelée simple définie sur la courbe hypsométrique selon la relation suivante :

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

L : Longueur de rectangle équivalent , facile à calculer. Si on lit la valeur des deux altitudes sur la courbe hypsométrique ,nous obtenons pour notre bassin :

$$D = 1640 - 956$$

$$D = 690m$$

$$L = 23,8km$$

Ce qui donne pour l'indice global : $IG = 28,97 m/km$

Ces deux valeurs IG et IP , nous permettent d'affirmer que le relief du bassin versant est fort.

5.3.3 Dénivelé spécifique

Il est défini comme le produit de l'indice de pente globale par racine carrée de la surface du bassin versant.

$$D_s = IG\sqrt{S} \dots\dots\dots(10)$$

Avec : $S = 567km^2$, Donc : $D_s = 689,82m$

Cette valeur, compte tenu de la classification de L'.O.R.S.T.O.M montre que la dénivellation appartient à la classe R₅ (tableau 7) qui caractérise un relief fort ; ce qui encourage le déclenchement de tous les processus d'abrasion.

Tab. n° 5 : La classification de l'ORSTOM

Classe de relief	D _s (m)	Type
R1	D _s < 10	Très faible
R2	10 < D _s < 25	Faible
R3	30 < D _s < 50	Assez faible
R4	60 < D _s < 100	Modéré
R5	110 < D_s < 250	Assez fort
R6	260 < D _s < 500	Fort
R7	D _s > 500	Très fort

5.4 Les paramètres hydrographiques

Il est fondamental que la densité de réseau hydrographique exprime bien le degré de dégradation du milieu naturel.

Les paramètres qui caractérisent le chevelu hydrographique sont la densité de drainage et le coefficient de torrentialité. Pour leur détermination, on s'est basé sur la classification de Schum qui définit un ordre de tronçon des talwegs à partir d'une règle simple et sans ambiguïté Schéma n°1.

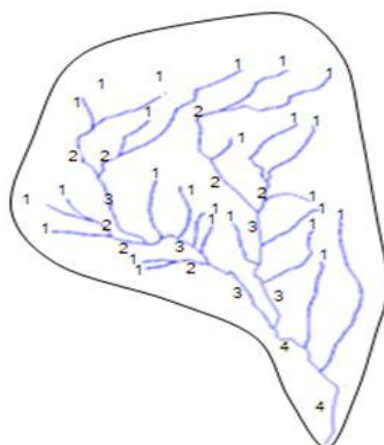


Schéma n° 1. Classification du réseau hydrographique selon Schum

Le principe est de donner l'ordre $x+1$ à tout tronçon de l'Oued formé par la réunion de deux cours d'eau de l'ordre x . Ainsi sept ordres ont été déterminés dans notre bassin selon l'étude hydrographique du bassin versant faite par ANRH, sur une carte topographique à l'échelle 1/50.000, tableau n°. 8.

Tab n°.8 : Classification des cours d'eau

Ordre	N.B. cours l'eau	Longueur (km)
1	4123	1090
2	2562	810
3	173	519
4	34	161
5	8	93
6	2	45
7	1	3,6
Total	6903	2721,6

Source : ANRH.

Le réseau hydrographique de notre bassin versant Carte n°.4 (voir annexe) est constitué de plusieurs thalwegs en particulier Oued. Tamagra, Oued . El Hatiba qui se rejoignent pour constituer la partie amont de l'Oued El- Arab au site du barrage Babar.

En général, le réseau hydrographique d'Oued El-Arab, est caractérisé par un écoulement périodique durant les saisons pluvieuses.

Les sous bassins versants situés à l'est de la zone d'étude montrent quant à eux ont une forte sensibilité à l'érosion hydrique (chevauchements hydrographiques est très dense) à cause de la faiblesse ou l'absence totale du couvert végétal.

5.4.1 Densité de drainage ' Dd '

C'est la longueur totale des cours d'eau de tout ordre sur la surface drainée (R .Gloor ,1982) soit :

$$Dd = \frac{\sum_{x=1}^n Lx}{S} \dots\dots\dots(11)$$

Avec : $L_1 = \sum_{x=1}^n Lx$;

$\sum_{x=1}^n Lx$: La longueur totale cumulée des cours d'eau d'ordres x déterminée par curvimètre sur la carte du réseau hydrographique en km.

n : L'ordre du cours d'eau ;

S : Surface du bassin versant en km².

Selon le tableau n°.6 ; on trouve : $Dd = 4,8 \text{ km/km}^2$.

5.4.2 Le profil en long

La topographie du cours d'eau principal joue un rôle très important dans le transport des matériaux vers l'aval (endroit du barrage).

Le tracé en long de l'Oued. Arab et ses principaux affluents, permet d'apporter des éléments complémentaires à la densité du drainage, au vu du rôle déterminant des pentes sur le ruissellement superficiel et surtout sur l'écoulement lors des crues Figure 6.

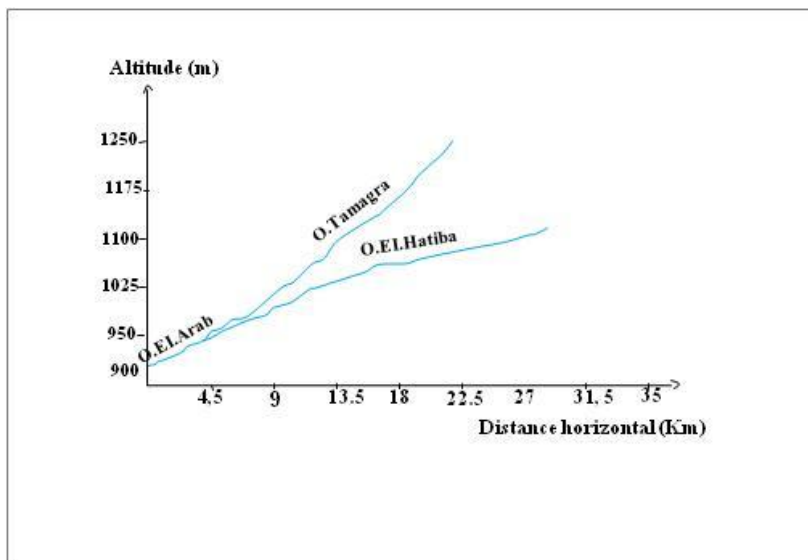


Fig n°.6 : Profil en long du talweg principal

Les grands traits qui ressortent de ces profils en long, dont une grande déclivité des affluents d'Oued El-Arab à sa partie à mont (O.Tamagra, O. El Hatiba), ils dépassent 70% surtout dans l'oued Tamagra ;ce qui augment la vitesse d'écoulement et même le volume du transport solide de différents types, ainsi que le sapement des berges(aspect torrentialité des cours d'eau).

5.4.3 Coefficient de torrentialité

Le coefficient de torrentialité noté C_t , exprime l'importance de l'érosion et du transport solide. On le définit par :

$$C_t = D_d \cdot F_1 \dots\dots\dots(12)$$

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

$F_1 = \frac{N_1}{S}$: fréquence des talwegs élémentaires.

$F_1 = 7,27 \Rightarrow C_t = 34,89$

Le coefficient de torrentialité est étroitement lié à la densité de drainage. Il donne une idée sur le comportement du réseau de drainage c'est-à-dire comment l'eau provenant des cours d'eau d'ordre inférieur arrive à la rivière principale. Ce coefficient est égal à 0,3489 ;ce qui veut dire que plus de 34% du bassin versant est constituée de cours d'eau de premier ordre.

5.4.4 Le temps de concentration T_c

C'est le temps que met l'eau, tombée au point hydraulique le plus éloigné pour arriver au point considéré (exutoire). Il est déterminé par la formule de Giandotti suivante :

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L_p}{0,8\sqrt{h_{\max} - h_{\min}}} \dots\dots\dots(13)$$

Avec :

- T_c : temps de concentration (heure) ;
- S : surface du bassin versant (567km²) ;
- L_p : longueur du talweg principal ($L_p=51$ km) ;
- h_{moy} : altitude moyenne du bassin ($h_{moy}=1171,95$ m) ;
- h_{min} : altitude minimale du bassin ($h_{min}=900$ m).

Ce qui donne, pour notre cas d'étude, un temps de : $T_c = 13.01$ heures. La vitesse (vitesse moyenne de propagation de la crue) de transfert des écoulements se calcule de la façon suivante :

$$V = \frac{L_p}{T_c} = 3,92 \text{ km/heure} \approx 1,09 \text{ m/s} \dots\dots\dots(14)$$

C'est une vitesse importante, qui peut exprimer la pente forte du talweg principal.

Les résultats de la morphométrie du bassin versant de l' Oued El –Arab au site du barrage Babar sont consignés dans le tableau 9.

Du point de vue hydrologique et à partir des caractéristiques morphométriques du bassin ; on peut dire que la réponse hydrologique est très vite dans le bassin versant.

Tab n° . 9: Récapitulation des caractéristiques morphométriques du bassin versant

paramètre		Unité	Valeur
Indice de forme	K_c	-	1,12
Longueur du rectangle équivalent	L	km	23.81
Indice de pente de Mr Roche	IP	-	5.81
Dénivelée spécifique	D_s	m	689,82
Indice de pente globale	IG	m/km	28.97
Surface du bassin	A	km ²	567
Périmètre du bassin	P	Km	95,24
Densité de drainage	Dd	km/km ²	4,8
Coefficient de torrentialité	C_t	-	34,89
Temps de concentration	T_c	h	13.01
Vitesse de concentration	V_c	m/s	1,1
Altitude moyenne	h_{moy}	m	1171, 95
Altitude minimale	h_{min}	m	900

6. Sols et occupation des sols

6.1 Le sol

C'est le support de tous les êtres vivants animaux et végétaux, l'évolution de ces derniers est liée au degré de développement des sols.

La carte 5 « monographie de la Wilaya de Kenchela .1998 » (voir annexe) des sols; du bassin versant de l'Oued El-Arab au site du barrage de Babar, montre la répartition des sols suivants :

7. Occupation des sols

Il est évident que les terrains occupés par une couverture végétale connaissent une dégradation moindre que les terrains nus, 10,7 T/Km²/an contre 200 T/Km²/an. (Gabert : Document « l'érosion entre la nature et la société, 227p »). Dans ce contexte, nous avons utilisé une carte d'occupation des sols, dressée par les services des forêts, qui a été réalisée avec quelques ajustements après les sorties sur terrain ; carte n°.6 (voir annexe).

La carte d'occupation des sols; montre la répartition de l'affectation des terres enregistrée au tableau 10.

7.1 Couverture dense (forêt)

Elle se situe à l'extrémité Nord-Ouest du bassin versant (Dj.Aidel, Dj.Chenntegomma). La végétation forestière est, en général ,constituée de : Cèdre, Pin d'Alep, Chêne vert et Genévriers. Parcontre au Sud -Est du bassin sur Dj. Bouzendag , la végétation est formée de Pin d'Alep.

Cette végétation assure une bonne protection du sol contre l'agressivité pluviale et les écoulements superficiels, mais malheureusement la superficie de cette forêt est très réduite (4,23%) par rapport à la superficie du bassin versant.

7.2 Etat dégradé (Maquis)

La surface des maquis représente 22 Km² (03,83%) des terres du Bassin versant. La végétation, Alfa et Armoise couvrent le massif du Dj Djahfa avec surface moins de 4% de la surface totale du bassin.

7.3 Etat très dégradé (parcours steppiques)

Sous forme en majorité des nappes alfatières (environ 07% de la surface totale), les parcours steppiques se situent aux piedmonts Nord-Ouest des montagnes (Dj. Aidel, Dj. chenntegomma) et Sud –Est (Dj. Tadelist). Ils jouent un rôle prépondérant en faveur du secteur de l'élevage extensif.

7.4 Etat très dégradé à sol nu

Plus de 84% des terres localisées la vallée du bassin versant est constitué des terres nues ou cultivées en céréales essentiellement.

Tab n°.10: Bassin versant d'Oued El-Arab ; Occupation des Sols

Type	Surface occupée		Etat
	Km ²	%	
Forêts	24	4,23	Bon
Maquis	22	3,83	Dégradé
Maquis+parcours steppiques	40	7,05	Très dégradé
Culture annuelle+terre nue	481	84,83	Très dégradé

En Guise de synthèse, le bassin versant de Oued El-Arab est occupé dans sa plus grand partie par une couverture arbustive dégradée à très dégradée, avec un taux de couverture faible ; ce qui expose ses sols à l'érosion pluviale et au ruissellement.

CONCLUSION

Le bassin versant de Oued El-Arab ,au site du barrage de Babar ,est caractérisé par des conditions du milieu physique, qui favorisant le déclenchement de toutes les formes d'érosion. Les altitudes décroissent de l'amont vers l'aval avec un dénivelé de 1215 m, les pentes sont moyennes à fortes (44,01 %), avec une dominance des formations de faible résistance à l'érosion (plus 80 %); semi-permeable 67,2%. Les caractéristiques morphométriques mettent en évidence l'existence d'une dynamique active, justifiée par une densité de drainage assez importante (4,8 km/km²). De plus le coefficient de torrentialité semble assez grand (34,89) ce qui est du au nombre considérable de talwegs de premier ordre et la sinuosité qu'ils forment. Les sols sont squelettiques peu évolués (plus 90%) et surtout mal ou non protégés par une végétation dégradée à très dégradée particulièrement par des maquis à concurrence de 3,83%.

Tous ces facteurs montrent que la zone d'étude souffre de phénomènes d'érosion.

Chapitre 3

Les flux climatiques

Introduction

Les éléments climatiques telle que la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le vent, etc..., associés aux composants stables du bassin versant, jouent un rôle important dans le régime hydrographique des cours d'eau.

Les facteurs climatiques sont responsables de toute action érosive ; notamment les précipitations et leurs régimes spatio-temporelles, les températures et leurs variabilités ; en vue de la préparation des matériaux avec les différents mécanismes physico-chimiques et mécaniques, ainsi que le rôle de l'humidité du sol et sa réaction sur le ruissellement.

Une étude hydrologique d'un bassin est basée sur les données pluviométriques observées, toujours peu exactes et nécessitent un ajustement. Aussi, pour contrôler les échantillons pluviométriques de plusieurs stations, on utilise souvent la méthode des doubles cumuls qui consiste en la vérification des couples de stations par rapport à une station de référence ayant les données les plus complètes sur de longues périodes. L'homogénéisation des données s'effectue pour combler les lacunes d'observations des autres stations en utilisant la méthode de correction linéaire.

1. Les données pluviométriques

1.1 Détection et Correction des erreurs

Cette méthode consiste à prendre un échantillon chronologique des données d'observations qui seront présentées comme suit :

En abscisse, on porte les totaux annuels pluviométriques cumulés de la station de base et en ordonné les totaux annuels cumulés de la station à vérifier. Si les points forment un alignement tout à fait parfait on conclura que les deux séries sont homogènes.

Dans le cas contraire, ou si on obtient plusieurs segments de droites avec de différentes pentes, cela signifie que l'une des stations présente une erreur systématique.

Dans notre cas on classe les totaux annuels de la station à vérifier « Station EL. HAMMA ». On constate qu'il y a une cassure sur la courbe formant deux droites de pentes m et m' , ce qui signifie que l'une de deux séries est erronée.

Si l'on considère la série après la coupure étant la plus longue (20 ans) et la série avant la cassure (14 ans) étant la série courte, il est plus utile dans ce cas de corriger la série ancienne.

La correction de la série ancienne s'effectue en la multipliant par le rapport des pentes m'/m et cela à partir de la date ancienne jusqu'à la cassure. Les pentes m et m' sont définies par :

$$m = \frac{P(\text{hamma})}{P(\text{babar})} = 2,22 \dots\dots\dots(15)$$

$$m' = \frac{P(\text{hamma})}{P(\text{babar})} = 1,37 \dots\dots\dots(16)$$

$$r = \frac{m'}{m} = 0,61$$

Même chose pour les deux stations (St. Kais, St. Kt -souda)

$$m = 1,95, m' = 1,19, r = 0,61 \quad \longrightarrow \text{St. Kais}$$

$$m = 0,62, m' = 0,9, r = 0,67 \quad \longrightarrow \text{St. Kt- Souda}$$

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau.9 et la figure.5. (Voir annexe).

1.2 Comblement de lacunes

On a constaté que les données, sur chacune des stations prises pour étude, contiennent des lacunes à l'échelle mensuelle et annuelle, à l'exception de la station de référence sur laquelle on s'appuie pour estimer les moyennes des pluies inconnues de certaines années. Pour cela, il faut mettre en évidence les résultats qui existent entre les deux séries d'observation dans un système de coordonnées en référant entre les couples de valeurs des deux séries. On décèle une corrélation linéaire entre elles, prise en couple, et on obtient une fonction de type linéaire : $y = ax + b$ pour laquelle on détermine ses paramètres a et b en utilisant la méthode des moindres carrés qui donne :

$$a = \frac{\sum(x_i y_i) - N \bar{x} \bar{y}}{\sum(x_i)^2 - N \bar{x}^2} \dots\dots\dots(17)$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x} \dots\dots\dots(18)$$

Avec :

$\sum x_i y_i$: Somme des produits des valeurs prises en couples ;

- N : Taille de l'échantillon ;
- \bar{y} : Valeur moyenne de la série à compter ;
- \bar{x} : Valeur moyenne de la série de référence,
- $\sum x_i^2$: Somme des carrés des valeurs de la série de base.

D'où : a : Coefficient angulaire de la droite de régression.

Le coefficient de corrélation, qui détermine l'intensité de la liaison linéaire entre les deux séries calculées, est défini par r :

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \dots \dots \dots (19)$$

Plus la valeur de r est proche de l'unité, plus l'hypothèse d'une corrélation est envisageable. Ce coefficient a été calculé par le biais de l'ordinateur (tableau 9).

On a constaté ainsi que le coefficient de corrélation, entre chaque station et la station de référence (Babar), est significative ; d'où le choix de la station de base est conforme.

Ainsi on a pu déterminer et contrôler par la régression linéaire les valeurs lacunaires des stations (Ktef Souda, Kais et El Hamma) tableau 11, figure .6 (voir annexe)

Tab n°.11 : Paramètres de corrélation du comblement des lacunes.

Corrélation entre	Année	r	Equation
BABAR (y) et KTEF SOUDA (x)	1971 à 1991	0,67	$y = 0,28x + 115,20$
BABAR (Y) et KAIS (x)	1971 à 1991	0,61	$y = 1,32x - 195,2$
BABAR (Y) et ELHAMMA (x)	2001 à 2004	0,61	$y = 0,69x + 170,9$

2. La distribution des précipitations annuelles

Pour toute étude pluviométrique on doit prendre la série la plus longue et homogène. Dans notre cas, il s'agit de la série de 1971 à 2004. Tableau 13 (voir annexe).

Dans la partie amont, nous avons remarqué le même régime pluvial pour les deux stations (El Hamma et Kais) figure .7 ; cela est dû à l'effet de la proximité entre elles.

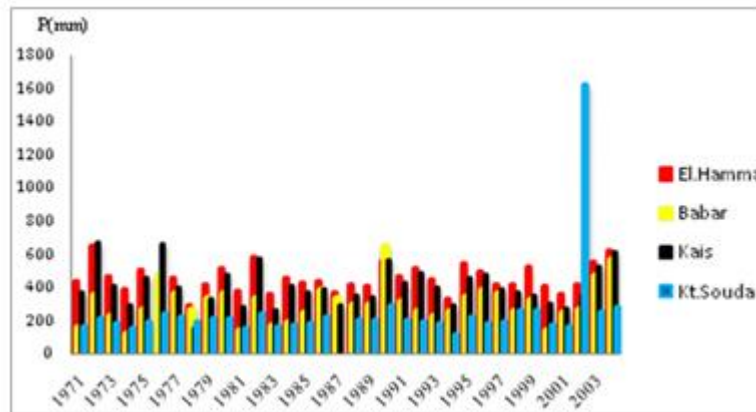


Fig n°. 9 : La distribution des précipitations annuelles

Pendant la période 1971-2004, la pluviosité de la station d'El Hamma (437,8 mm) est plus importante que celle de la station de Babar (300,3mm). Ce si est justifié par l'effet altitudinal de cette dernière, où le dénivelé entre les deux stations est de l'ordre de 105mètre ainsi que leur éloignement du site d'étude (hors du bassin versant).

Le régime pluviométrique dans le bassin versant est caractérisé par l'irrégularité inter annuelle, exprimée

par le rapport : $\frac{P}{P_{moy}}$

Où ; P : pluie annuelle en mm ; P_{moy} : pluie moyenne interannuelle en mm.

Si ; $\frac{P}{P_{moy}} < 1 \Rightarrow$ Année sèche.

Où : $\frac{P}{P_{moy}} > 1 \Rightarrow$ Année humide.

Le classement des années humides et sèches et leurs valeurs caractérisant la période (1974 – 2004) figurent dans le tableau suivant :

Tab n°.14 : Les années humides et sèches des stations d'étude

Station	Année sèche			Année humide			P moy (mm/an)	Intervalle de variation
	Nombre	P _{min}	Année	Nombre	P _{max}	Année		
Babar	18	133,8	2000	16	640	1990	300,3	507
El-Hamma	16	329	1994	18	618,6	2004	456,7	289,6
Kt. Souda	27	110,9	1994	7	287,8	1990	233,5	176,9
Kais	20	151,5	1978	14	611,5	2004	399,6	460

La zone d'étude s'étale sur le versant Sud des Aurès, caractérisée par une pluviométrie décroissante de haut vers le bas (piedmont saharien). Ce qui est remarqué entre les stations de Babar et El-Hamma, où le nombre des années sèches augmente du Nord vers le Sud et l'inverse pour les années humides. Ainsi les stations d'El-Hamma, Kais et Kt. Souda qui se trouvent hors de la zone d'étude où le nombre des années sèches plus que les humides. L'intervalle de variations annuelles entre les deux valeurs extrêmes dans chaque station est très important varie entre 176,9 à 507mm ; ce qui montre une forte fluctuation interannuelle (figure 7).

Les précipitations annuelles observées à partir de l'année de mise en eau du barrage de Babar (1996) présentent l'année (2004) une année particulière ; qui est la plus humide dans la série d'observation (34 ans). Dans ces quatre derniers ans ; il y a deux années sèches et deux années humides (tableau. 9).

Théoriquement on peut prévenir que les apports qui sont observés au barrage ces deux dernières années sont exceptionnels. Par ailleurs, l'année 1994 a connu un déficit pluviométrique à travers toutes les

stations. Où le rapport $\frac{P_{94}}{P_{moy}}$ va de 0,47 (St. Kt.Souda) à 0,84 (St. Babar).

L'irrégularité pluviométrique est aussi fonction de la topographie ; cas station d'El Hamma, étant station d'Amont est plus pluvieuse que celle de Babar étant station d'Aval ; cela dépend essentiellement de l'altitude.

3. Evaluation de la lame d'eau précipitée

Pour évaluer la lame d'eau précipitée, nous avons utilisé les deux méthodes suivantes :

3.1. La moyenne arithmétique

C'est la moyenne des valeurs des précipitations moyennes annuelles des pluies présent pour l'étude, il est calculé selon la relation suivante :

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{N} \dots\dots\dots(20)$$

Où ; P_i : Précipitation moyenne annuelle de chaque station enseigne, N : Nombre de stations.

$$\bar{P} = 340,91mm.$$

3.2 Méthode de Thiessen

Cette méthode consiste à partager le bassin versant en polygones tels que les précipitations de chaque station représentent la précipitation moyenne sur une fraction du bassin délimitée par un polygone figure. 8. (Voir annexe)

La pluie moyenne annuelle par la méthode de polygone de Thiessen sera de type :

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i S_i}{S_t} \dots\dots\dots(21)$$

P_i : Précipitation annuelle, S_i : Superficie partielle du polygone, S_t : Superficie totale du bassin.

L'application a donné les résultats suivants :

Station	Babar	Kais	El Hamma
P_i (mm)	300,02	399,91	456,57
S_i (km ²)	375	32	160

D'où ; $\bar{P} = 349,8mm$

Les résultats obtenus par les deux méthodes sont :

Méthode	Thiessen	Moy. Arithmétique
\bar{P} (mm)	349,80	340,91

4. Précipitation mensuelle et régime saisonnier

A partir du tableau .15 et de la figure.10 des répartitions des pluies mensuelles du bassin versant de Babar (1971/2004), on peut dire que le mois d'Octobre est le plus pluvieux et le mois de Juillet est le plus sec dans la partie aval du bassin versant ; tandis que pour le sous bassin Amont, le mois de Juillet est considéré comme le plus sec et le long de l'année. Aussi, la zone d'étude est marquée par une importante variation des précipitations.

Tab n°.15 : Répartition mensuelle des précipitations en mm

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
St.Babar	35,7	43	40,3	16,7	24,9	13,8	20,6	29,2	31,1	20,3	11,2	17	300,28
St.Hamma	49,1	38,8	46,8	35,5	48,6	25,8	30,2	47,9	46,5	34,2	15,2	40,2	456,4
St.Kais	31,3	31.1	11.6	33.7	29.9	66	48.6	39.9	37	26.1	12.8	14.3	399,91

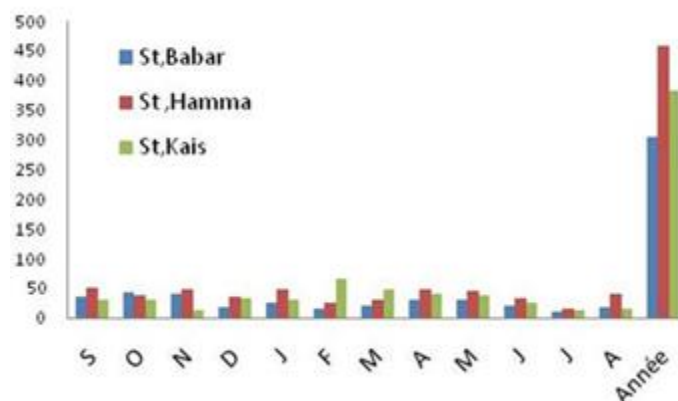


Fig.10 ; répartitions des pluies mensuelles du bassin versant de Babar (1971/2004),

Concernant le régime saisonnier ; l'examen des données pluviométriques, montre une variation de la pluviométrie à l'échelle saisonnière tableau. 16 et figure 11. La saison d'automne est la plus humide (39% sous bassin aval) ; c'est le début de l'année agricole et la préparation des sols cultivés. Cette action coïncide avec l'abondance pluviale et la nature dénudée des sols ; ce qui peut favoriser la dégradation des terres. Les pourcentages des précipitations pendant l'hiver et le printemps sont très rapprochés environ de 28% en moyenne, quant à l'Eté est caractérisé par une sécheresse remarquable (16%).

Tab n°.16 : Précipitations saisonnières (1971-2004)

Saison	Automne		Hivèr		Printemps		Eté	
	p (mm)	%	p (mm)	%	p (mm)	%	p (mm)	%
St,Babar	119	39	55,6	18	80,9	27	48,5	16
St, Hamma	134,7	30	109,2	24	124	30	82,2	19
St,Kais	74	19	129,6	34	125,5	33	53,2	14

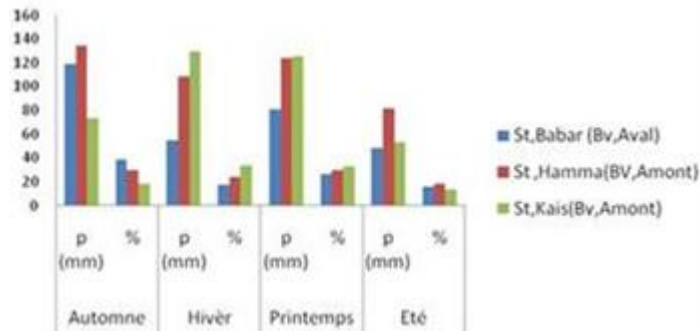


Fig.11 : Précipitations saisonnières (1971-2004)

5. Etude statistique des pluies Annuelles

L'étude fréquentielle a pour but d'arriver à une loi d'ajustement pour la distribution des précipitations interannuelles et qui permettra, par la suite, de définir les valeurs limites des précipitations atteintes ou dépassées pendant une période donnée. La méthode consiste ;

En première étape, à déterminer les paramètres empiriques des échantillons à savoir l'écart type, la moyenne, la variance et le coefficient de variance.

En deuxième étape, on procèdera au classement des données pluviométriques par ordre croissant en donnant à chaque valeur son rang de la série, compté à partir du 1. Enfin calculer les fréquences expérimentales au non dépassement pour chaque valeur, selon la formule :

$$F(x) = \frac{n - 0.5}{N} \dots\dots\dots(22).$$

n : rang de la variable ;

N : taille de l'échantillon

Dans une troisième étape, on portera sur papier Gaussien les valeurs observées en ordonnée et les fréquences en abscisse afin de prévoir si la série peut être ajustée ou non à la loi de probabilité, dite loi normale, figure .11 (Annexe).

La formule étant de type :

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\hat{\sigma}_x} \dots\dots\dots(23)$$

Avec : u : Variable de gausse, \bar{x} : Précipitation moyenne de la série, $\hat{\sigma}_x$: Écart type de la série. Ce qui nous ramène à écrire l'équation de la droite d'HENRY sous la forme :

$$x = \bar{x} + \hat{\sigma}_x u \dots\dots\dots(24)$$

Afin de trouver la probabilité de la moyenne annuelle des pluies. Tableau .11 (Voir annexe) ; pour tracer la droite de HENRY, on passe des fréquences de non dépassement aux fréquences de dépassement. Alors la moyenne annuelle pour les quatre stations sera, alors, calculée pour des probabilités données comme suit :

• **Station Babar**

$\bar{P} = 300,02\text{mm.}$, $\hat{\sigma} = 115,98$, $C_v = 0,38$
 Donc l'équation de la droite de HENRY sera de type :
 $y = 115,98u + 300,02$.

F_i	0,5	0,1
u_i	0	1,282
$\bar{p}_{(mm)}$	300,02	452,70

• **Station kais**

$\bar{P} = 399,45\text{mm}$, $C_v = 0,29$, $\hat{\sigma} = 118,25$
 Donc l'équation de la droite de HENRY sera de type :
 $y = 118,25u + 399,45$.

F_i	0,5	0,1
u_i	0	1,282
$\bar{p}_{(mm)}$	399,45	551,05

• **Station El. Hamma**

$\bar{P} = 456,4\text{mm}$, $\hat{\sigma} = 87,24$, $C_v = 0,19$
 Donc l'équation de la droite de HENRY sera de type :
 $y = 87,24u + 456,96$.

F_i	0,5	0,1
u_i	0	1,282
$\bar{p}_{(mm)}$	456,4	568,41

F_i	0,5	0,1
u_i	0	1,282

• **Station Ktef.souda**

\bar{p} (mm)	204,40	253,98
----------------	--------	--------

$\bar{P} = 204,40\text{mm}$, $\hat{\sigma} = 38,68$, $Cv = 0,2$

Donc l'équation de la droite de HENRY sera :

$y = 118,25u + x$, $y = 38,68 \times u + 204,4$.

On trace la droite de HENRY après le report de deux points.

D'après les graphes de la figure .11, (voir annexe) on remarque que la distribution des points est normale, en effet les points s'alignent bien sur la droite de HENRY, ce qui explique l'adaptation de la loi de GAUSS à notre échantillon.

5.1 Test d'adéquation d'une loi théorique ; Test du χ^2

Procéder à l'ajustement d'une loi théorique à un échantillon, permet d'étudier l'adaptation de cette loi à cet échantillon. Pour cela on fait appel à un test de χ^2 (PEARSON). Pour ce faire, on suit les étapes suivantes :

Opérer le découpage en classe de la série à ajuster telle que ces classes soient d'égales probabilités théoriques et contiennent au moins 5 valeurs et les classer dans un ordre décroissant.

Calcul de χ^2

$$\chi^2 = \sum (n_i - n p_i)^2 / n p_i \dots\dots\dots(25)$$

Avec : n_i – effectif observé de la classe 'i' ; $n p_i$ effectif théorique de cette même classe.

On calcule le nombre du degré de liberté

$$\nu = K - 1 - P \dots\dots\dots(26)$$

Avec ; K : nombre de classe ; P : nombre des paramètres déterminés à partir des valeurs expérimentales pour ajuster la loi ($P = 2$).

d. L'adéquation est admis si : $P(\chi^2) > (\alpha)$.

α : Seuil du risque d'adéquation choisi généralement égal à : 0,05.

- **Le découpage en 5 classes**

✓ **Classe 1**

$F(x) = (7/ 34) = 0,206$, $u = 0,82$.

$x = 456,57 - 0,82 \times 87,24 = 425,42\text{mm}$.

✓ **Classe 2**

$$F(x) = (2 \times 7 / 34) = 0,41, \quad u = 0,23, \quad x = \bar{x} - \partial u$$

$$x = 456,57 - 0,23 \times 87,24 = 420,02 \text{mm}$$

✓ **Classe 3**

$$F(x) = (3 \times 7 / 34) = 0,617, \quad u = 0,35$$

$$x = 456,57 - 87,24 \times 0,35 = 426,03 \text{mm.}$$

✓ **Classe 4**

$$F(x) = (4 \times 7 / 34) = 0,82, \quad u = 0,92$$

$$x = 456,57 - 87,24 \times 0,92 = 416,69 \text{m.}$$

Station El Hamma

Nb. Classe	Limite classe	N p _i	n _i	(n _i - n p _i) ²	(n _i - n p _i) ² / n p _i
1	<368,2	6,87	5	3,24	0,47
2	368,2 / 409	6,8	6	0,64	0,09
3	409 / 435,5	6,8	7	0,04	0,005
4	435,5 / 495,5	6,8	8	1,44	0,21
5	>495,5	6,8	10	10,24	1,5
-	-	-	-	-	2,27

- **Le découpage en 4 classes**

Nb. Classe	Limite de classe	n _i	N p _i	(n _i - n p _i) ²	(n _i - n p _i) ² / n p _i
1	<404,60	8	4	16	4
2	404,60 / 429,40	8	4	16	4
3	429,4 / 492	7	4	9	2,25
4	> 492	11	4	49	12,25
-	-	-	-	-	22,5

- **Le découpage en 6 classes**

Nb. Classe	Limite de classe	n _i	N p _i	(n _i - n p _i) ²	(n _i - n p _i) ² / n p _i
1	<368,2	5	5,66	0,43	0,07
2	368,2 / 407,8	5	5,66	0,43	0,07
3	407,8 / 425,2	5	5,66	0,43	0,07
4	425,2 / 457,9	6	5,66	0,11	0,02
5	457,9 / 516	6	5,66	0,11	0,02
6	>542	7	5,66	1,79	0,31
-	-	-	-	-	0,56

On opte pour le découpage de 6 classes car $x^2 = 0,56$ (valeur minimale).

Le degré de liberté sera égal :

$$\gamma = K - P - 1, \gamma = 6 - 2 - 1 = 3 \quad \text{avec ; } K : \text{ nombre de classes.}$$

$P = 2$ (moyenne, variance). $P(x^2) = P(0,56)$ on trouve à partir de l'abaque de PAERSON : $P(0,56) > 0,05$. Donc l'adéquation est satisfaisante.

e. Calcul de l'intervalle de confiance

L'intervalle de confiance permet d'expliciter l'importance des erreurs d'échantillonnage. Le calcul dépend de la distribution d'échantillonnage : c'est à dire des lois auxquelles sont soumises ces caractéristiques empiriques déduites de l'échantillon.

Donc, pour des variables bien connues et peu dispersées, α doit être compris entre 90% et 95%. La moyenne et la variance, respectivement pour $N > 30$ et $N > 50$, sont définies par les formules suivantes :

- **Pour la moyenne** ; elle sera de type :

$$\bar{x} = \pm \frac{u_{1-\alpha}}{2} \times \frac{\partial}{\sqrt{N}} \dots\dots\dots (27)$$

$$\partial = \pm \frac{u_{1-\alpha}}{2} \times \frac{\partial}{\sqrt{2N}} \dots\dots\dots (28)$$

Avec ; u : Etant la variable réduite de Gauss.

❖ Station d'El-Hamma

$$\bar{x} = 456,57 \text{ mm}, N = 34.$$

Pour l'intervalle de confiance 95%

$$\frac{\partial}{\sqrt{N}} = \frac{87,24}{\sqrt{34}} = 14,96$$

$$F(x) = \frac{1-\alpha}{2} = \frac{1-0,95}{2} = 0,025 \Rightarrow u = 1,96$$

$$\bar{x} = \pm \frac{u}{2} \times \frac{\partial}{\sqrt{N}}$$

$$\bar{x} = 456,57 \pm 1,96 \times 14,96$$

$$\bar{x} = 456,57 \pm 29,32$$

$$d'où : 427,25 \leq \bar{x} \leq 485,89mm$$

Pour un intervalle de confiance 90%

$$F(x) = \frac{1-\alpha}{2} = \frac{1-0,90}{2} = 0,05 \Rightarrow u = 1,64$$

$$\bar{x} = 456,57 \pm 1,64 \times 14,96$$

$$\bar{x} = 456,57 \pm 24,61$$

d'où

$$431,96 \leq \bar{x} \leq 481,18mm.$$

Pour la variance ; $N=34 < 50$,

La variance empirique suit une loi de x^2 avec un degré de liberté $d^o = 34 - 1 = 33$.

Donc pour un intervalle de confiance 95%, $\frac{1-\alpha}{2} = 0,025 \Rightarrow u = 1,96$

$$\frac{n\partial^2}{x_1} < \partial^2 < \frac{n\partial^2}{x_2}$$

$$x^2 = \frac{1}{2} [\pm u + \sqrt{2d^o - 1}]^2$$

$$x_1 = 50,20, \quad x_2 = 18,61$$

$$70,73 < \partial < 116,17$$

Pour un intervalle de confiance 90%,

$$\frac{1-\alpha}{2} = 0,05 \Rightarrow u = 1,64$$

$$x^2 = \frac{1}{2} [\pm u + \sqrt{2d^\circ - 1}]^2$$

$$x_1 = 47,09$$

$$x_2 = 20,57$$

Donc on a ;

$$73,03 < \partial < 110,49$$

5.2 Coefficient de variation et de régularité des pluies annuelles

Le calcul du coefficient de variance (Cv) est donné par la relation suivante :

$$Cv = \frac{\partial_x}{\bar{x}} \dots\dots\dots(29)$$

∂_x : Ecart type de la série.

\bar{x} : Précipitation moyenne annuelle.

On remarque que les valeurs de Cv sont comprises entre : 0,19 et 0,38 et qu'elles sont assez faibles, cela est due, à la nature des pluies orographiques de la région.

Tab n° 17 : Différents paramètres de Test du χ^2

Station	Babar	El-Hamma	Kais	Kt-Saouda
\bar{x}	300,02	456,57	399,45	204,4
∂	115,98	87,24	118,25	38,68
Cv	0,38	0,19	0,29	0,20

5.3. Les précipitations journalières

Cette analyse sert à déterminer et à étudier les précipitations journalières maximales et les averses génératrices des crues.

Pour l'estimation des pluies journalières, on se contente des seules données disponibles à la station de Babar. La loi de Galton nous permet de déterminer les pluies journalières maximales fréquentielles, (Tableau.16 annexes).

$$P_{j \max} = \frac{\overline{P_j}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \times e^{u \sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}} \dots\dots\dots(30)$$

Cette étude nous permet de déterminer les valeurs atteintes ou dépassées par les pluies maximales, pour une fréquence donnée.

Pour la station de Babar, avec une série de 1971 à 2004 (34ans), on essaiera d'ajuster la loi de Gumbel à la répartition des pluies maximales journalières.

La méthode consiste à classer les valeurs extrêmes annuelles par ordre décroissant, puis calculer pour chaque valeur la fréquence expérimentale au non dépassement à l'aide de l'équation (22) et on détermine par la suite les valeurs de la variable réduite de GUMBEL par la formule suivante :

$$Y = -(\ln(\ln f(x))). \dots\dots\dots(31)$$

Les couples (valeurs de pluies maximales journalières) sont reportés en ordonnée sur papier à probabilité Gumbel et les fréquences en abscisse (figure 14).

La distribution ainsi obtenue nous permet de vérifier si la loi de Gumbel peu être ajustée.

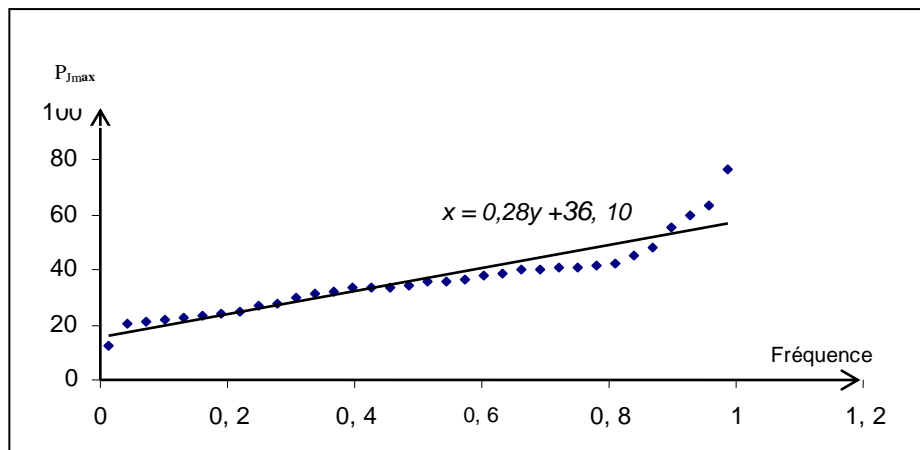


Fig n°14 : Ajustement de la loi de Gumbel aux pluies journalières extrêmes

On détermine les paramètres de la droite des pluies extrêmes $(x_0, \frac{1}{\alpha})$, ce qui permet de tracer la

droite d'équation donnée par:

$$x = \frac{1}{\alpha} y + x_0 \dots\dots\dots(32)$$

Dont nous déduisons les paramètres suivants:

$$x_0 = x - \frac{1}{\alpha} y$$

$$\frac{1}{\alpha} = r \frac{\partial_x}{\partial_y}$$

Soit ; x pluie externe moyenne (36,26mm)

$$y = 0,57$$

❖ **Coefficient de corrélation des deux séries**

$$r = 0,95$$

$$\partial_x = 0,37$$

$$\partial_y = 1,26.$$

$$\frac{1}{\alpha} = r \frac{\partial_x}{\partial_y} = 0,28$$

$$x_0 = x - \frac{1}{\alpha} y$$

$$x_0 = 36,10\text{mm}.$$

- Alors l'équation de la droite de Gumbel sera comme suit :

$$x = 0,28 y + 36,1.$$

5.4 Estimation des pluies de courte durée

Les pluies de courte durée correspondent aux précipitations dont la durée est égale au temps de concentration du bassin versant. Elles sont estimées d'après la formule suivante :

$$P_t = P_{\max} \left(\frac{t}{24} \right)^b \dots\dots\dots(33)$$

P_t : Pluie de courte durée en heure de fréquence donnée ;

b : exposant climatique ($b = 0,28$) ;

P_{\max} : Pluie journalière maximale de fréquence donnée.

Les résultats obtenus sont donnés dans le tableau .19 (annexe). Par la suite, on trace les courbes des paramètres des ces pluies de courte durée figure 14.

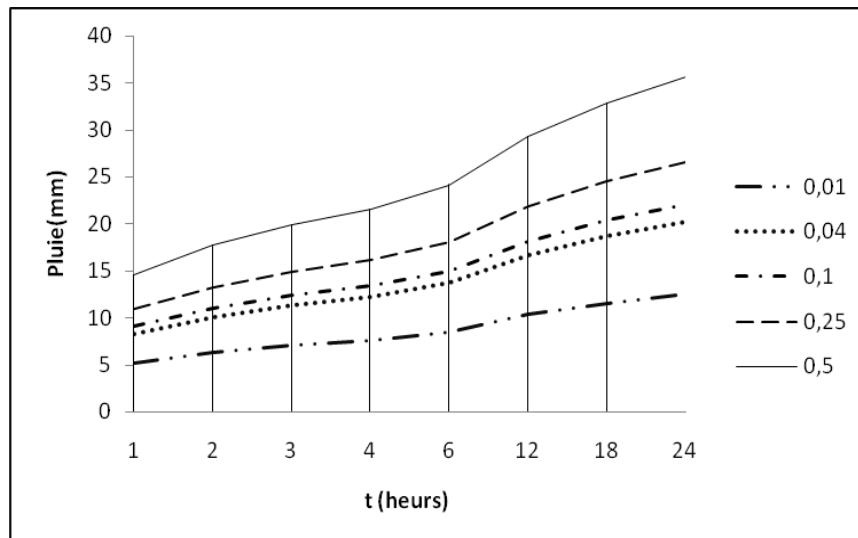


Fig.n°.14 : pluie de courte durée

On peut voir, sur les graphes Intensités – Durées- fréquences, que plus l'intervalle de temps s'accroît plus l'intensité décroît.

6. Les termes du bilan hydrique

6.1 L'évapotranspiration

L'un des éléments climatiques les plus difficiles à approcher où, on distingue ;

- Evapotranspiration potentielle ETP ;
- Evapotranspiration réelle ETR.

L'estimation de la lame d'eau évapotranspiré est possible grâce à des formules empiriques élaborées par plusieurs auteurs.

6.1.1 Calcul d'ETP

- Formule de Thornthwait

L'ETP sera calculée, en fonction de la température, à condition de considérer des surfaces suffisamment étendues et des pas de temps assez longs.

$$ETP = 16(10 \times t / I) a \dots\dots\dots(34)$$

Où ; t : température moyenne en (c°), a : indice lie à la température qui est calculé suivant la relation ;

$$a = 0,016 \times I + 0,5 \dots\dots\dots(35)$$

I : indice thermique annuel obtenue en sommant $(t / 5)^{1,514}$ sur 12 mois.

Du fait que Thornthwait a considéré dans sa formule des mois de 30 jours et chaque jour est de 12 heures, les valeurs de l'ETP, seront alors calculées et doivent être corrigées par un coefficient, K, qui dépend du temps et du lieu, avec : I = 67,3, on aura : a=1,58. Les résultats de l'ETP calculé par cette méthode sont représentés dans le tableau .20 ci-dessous.

Tab n° .20 : ETP Mensuelles (St. Babar)

Mois	P (mm)	T (c°)	I	ETP (mm)	K	ETPc
S	35,70	21,4	09,03	98,40	1,03	101,40
O	43,00	13,8	04,45	49,40	0,97	47,90
N	40,30	11,90	03,70	39,20	0,86	33,60
D	16,70	06,10	01,35	14,50	0,85	12,30
J	24,90	06,00	01,30	13,60	0,87	11,60
F	13,80	07,10	01,70	16,90	0,85	14,30
M	20,60	10,80	03,20	33,60	1,03	34,60
A	29,20	13,20	04,34	46,00	1,09	50,30
M	31,10	19,00	07,53	81,60	1,21	98,90
J	20,30	24,50	11,10	121,70	1,21	147,30
J	11,20	17,60	06,70	72,40	1,23	89,10
A	17,00	26,70	12,60	139,30	1,16	161,60
Annuel	300,20	14,84	67,30	726,7	-	802,80

6.1.2 Calcul d'ETR

a. Formule de TURC

L.TURC a établi cette relation à partir des données des précipitations et températures, son application sur 254 bassins à travers le monde a donné de bons résultats, elle est applicable à toutes les régions.

Selon TURC l'ETR se calcule comme suit ;

$$ETR = P_m / (0,9 + (P^2/L^2))^{1/2} \dots\dots\dots(36)$$

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle annuelle en (mm), P_m : pluie moyenne annuelle en (300,02mm), L : pouvoir évaporant défini par :

$$L = 300 + 25 \times T + 0,05T^3 \dots\dots\dots(37)$$

Où ; T : température moyenne annuelle (14,84 C°). Ce qui donne: ETR = 298,70m.

b. Formule de WUNDT

L’abaque de WUNDT, figue. 15, modifié par Coutagne figure.14 (voir annexe), permet de déduire directement l’ETR en fonction de la température moyenne et des précipitations annuelles.

Avec ; P = 300,28mm, T = 14,84 C°. On aura à partir de l’abaque: ETR = 300mm.

c. Formule de M. COUTAGNE

$$ERT = P_m - \lambda P^2 \dots\dots\dots(38)$$

Où ; P_m : précipitation moyenne annuelle en (0,3m), λ : Indice lie a la température par :

$$\lambda = 1/ (0,8 + 0,14T) \dots\dots\dots(39)$$

T : température moyenne annuelle (14,84 C°). Cette formule n’est applicable que lorsque :

$$1 / 8 \lambda < P < 1/2 \lambda . \text{ On aura donc : } 0,36 < P < 1,44$$

Et nous avons ; 0,3 < 0,36

Donc il n’y a pas d’écoulement (inapplicable) d’où : P = ETR = 300,00mm.

On s’aperçoit que l’ensemble des formules utilisées ne permettent pas de dégager un excédent d’eau en raison du pas de temps utilisé. Nous pensons que seul un pas de temps journalier permettrait le dégagement d’un excédent pour l’écoulement et pour l’infiltration.

6.2 Le Bilan Hydrique

L’étude du bilan hydrique nous permet de déterminer la quantité d’eau écoulee qui intervient dans l’action érosive.

Pour établir ce bilan hydrologique nous admettons que le sol a une quantité d'eau maximale de 100mm. Thornthwait suppose une limite de 100mm de réserve c'est la quantité d'eau que le sol peut fournir en réserve.

Les hypothèses suivantes sont tirées de la formule de Thornthwait où ; $P = ETR$: les précipitations sont suffisantes pour alimenter le sol, les réserves facilement utilisables ne seront pas alimentées.

Si $P < ETP$: le sol utilise ses réserves utiles jusqu'au épuisement de celles-ci on aura donc un déficit agricole (D_a) tel que :

$$D_a = ETP - P \dots\dots\dots(40)$$

Avec :

ETR : évapotranspiration réelle en (mm) ; RFU : réserve facilement utilisable en (mm) ;

P : précipitation mensuelle en (mm) ; ETP : évapotranspiration potentielle en (mm) ; De : déficit d'écoulement en (mm).

Lorsque $P > ETP$ alors $ETP = ETR$, on aura donc une quantité d'eau qui sera égale à ; $P - ETP$ qui va alimenter la RFU (réserve) jusqu'au maximum. Lorsqu'elle est saturée à 100mm, nous aurons un excédent d'eau qui s'écoulera en surface.

Les résultats de l'application de cette formule sont représentés dans le tableau .21 ci-dessous.

Tab n°.21 : Bilan hydrique selon THORNTHWAITE (St. Babar).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P	35,7	43	40,3	16,7	24,9	13,8	20,6	29,2	31,1	20,3	11,2	17
ETPc	98,4	49,4	39,2	14,5	13,6	16,9	33,6	46	81,6	121,7	72,4	139,3
P-ETP	-62,7	-6,4	1,1	2,2	11,3	-3,1	-13	-16,8	-50,5	101,4	-61,2	-122,3
D _{éc}	431	437,4	-	-	-	3,1	16,1	32,9	83,4	184,8	246	368,3
RFU	0	0	1,1	3,3	14,6	11,5	0	0	0	0	0	0
ETR	35,7	43	39,2	14,5	13,6	16,9	32,1	29,2	31,1	20,3	11,2	17
De	62,7	6,4	0	0	0	3,1	13	16,8	50,5	101,4	61,2	122,3
Exd	0	0	1,1	2,2	11,3	0	0	0	0	0	0	0

Nous remarquerons d'après ce bilan, qu'à partir du mois de Novembre jusqu'au début du mois février, les précipitations sont supérieures à l'ETP, donc on aura un excédent d'eau qui sera stocké sous forme

de RFU. Ces réserves commencent à s'épuiser notamment avec un déficit maximal au mois d'Août de 122,30mm.

6.3 L'équation du Bilan Hydrique

L'équation du bilan hydrologique d'après Thornthwaite exprimant l'égalité des pertes et des gains est définie comme suit : $P = ETR + R + I$ (41)

Où : P : précipitation moyenne annuelle en (mm), R : lame d'eau ruisselée en (mm),

ETR : évapotranspiration réelle en (mm), I : lame d'eau infiltrée en (mm).

6.3.1 Le Ruissellement de surface

Le ruissellement est l'écoulement instantané et temporaire des eaux sur un versant, à la suite d'une averse. D'après la formule de TIXRONT-BERKALOF; le ruissellement peut être estimé par la relation suivante applicable en zone aride: $R = P^3 / 3 (ETP)^2$ (42)

Où ; R : lame ruisselée en (m) ;

P : précipitation moyenne annuelle en (mm) ;

ETP : évapotranspiration potentielle en (mm).

$$R = (300.02)^3 / 3 (726,6)^2$$

Donc ; R = 17,05mm.

6.3.2 Estimation de L'infiltration

L'infiltration est la quantité qui pénètre dans le sol pour alimenter les nappes aquifères.

Ce paramètre est difficile à évaluer car il échappe aux mesures directes. Grâce à l'équation du bilan hydrologique, on peut estimer les infiltrations comme suit:

$$P = ETR + R + I$$
(43)

Où ; $I = P - (R + ETR)$

Avec ;

ETR : évapotranspiration réelle en (300mm selon formule Turc) ;

I : lame d'infiltration en (mm) ; R : ruissellement de surface (17,05mm selon formule Tixront) ;

P : précipitation annuelle en (300,28mm).

En remplaçant chaque terme par sa valeur et nous aurons $I < 0$ mm, donc pas d'excès d'eau.

D'après les résultats de l'infiltration calculée par les différentes formules donne des valeurs négatives. Les différentes méthodes de calcul de l'infiltration ne tiennent pas compte ni de la lithologie ni de la pente du terrain. Les résultats restent généraux et ne reflètent pas la réalité. Elles doivent être prises avec prudence.

Ainsi les résultats du calcul de l'ETP présentent un écart entre les valeurs calculées aux trois mois de (juin, juillet, Août) par rapport aux autres mois de l'année.

7. Ecoulement moyen annuel du bassin versant d Oued El Arab

Il est connu que l'écoulement est le support des matériaux arrachés. A cet égard, l'étude du régime hydrologique du bassin versant nous permet d'avoir, une idée sur le transport solide dans le temps et l'espace (unité hydrologique).

On se base sur la donnée disponible de la station de Babar sur 17ans (1988/2004) d'observations, en tant qu'une période homogène et identique à la période de précipitations étudiées.

7.1 Distribution statistique des débits annuels

Il s'agit de la phase dynamique du régime hydrologique où l'on utilise les lois d'ajustement en l'occurrence les lois de GUEMBL et de GALTON pour les ajuster à notre échantillon figure n°. 16 et tableau 20 (voir annexe).

7.1.1 Ajustement à la loi de GUMBEL

$$\bar{x} = 17,01$$

$$\partial = 14,88.$$

$$\bar{y} = 0,557$$

$$\partial = 1,23$$

$$r = 0,74$$

$$\frac{1}{\alpha} = 8,95$$

$$x_0 = 8,06$$

Alors l'équation de la droite de GUMBEL sera écrite comme suit ; $x = 8,95y + 8,06$.

Le tracé de la droite d'ajustement à la loi de GUMBEL n'est pas tout à fait ajusté à notre échantillon.

7.1.2 Ajustement à la loi de GALTON

$$\sum \ln x = 41,32$$

$$\overline{\ln x} = 2,56$$

$$\partial = 0,73$$

On trace la droite d'équation : $\ln x = \partial u + \overline{\ln x}$ (44)

Dont la forme, dans notre cas, sera donnée : $\ln x = 0,73 \times u + 2,56$.

Pour tracer la droite d'ajustement on choisit deux points tels que :

$$F = 0,5 \Rightarrow u = 0 \Rightarrow \ln x = \overline{\ln x} \Rightarrow x = 12,93.$$

$$F = 0,1 \Rightarrow u = 1,28 \Rightarrow \ln x = 3,49 \Rightarrow x = 32,93.$$

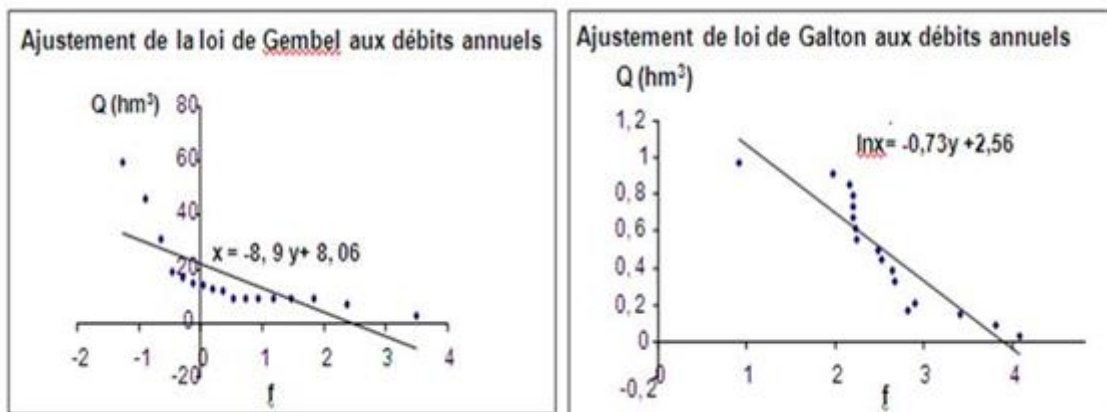


Fig n°18

7.1.3 Test d'adéquation (χ^2)

- **Calcul du χ^2** : pour cela, on applique la relation $\chi^2 = \sum (n_i - n p_i)^2 / n p_i$ en suivant les mêmes étapes examinées précédemment pour l'ajustement des précipitations.

• **Le découpage en 3 classes**

Classe 1

$$F(x)=5/17=0,29 \Rightarrow u=0,24$$

$$Lnx = \hat{O} u + \overline{\ln x} = 0,73 \cdot 0,24 + 2,56 \Rightarrow Lnx=2,73 \Rightarrow x=1,004$$

Classe 2

$$F(x)=2.5/17=0,58 \Rightarrow u= -0,15.$$

$$Lnx=0,73 \cdot (-0,15) + 2,56 \Rightarrow Lnx=2,45 \Rightarrow x=0,89$$

Nb.classes	Limite classe	$n_i p$	n_i	$(n_i - n_i p)^2$	$(n_i - n_i p)^2 / n_i p$
1	<9,14	5,66	5	0,43	0,075
2	9,14/14,73	5,66	7	1,79	0,31
3	>14,73	5,66	5	0,43	0,075
-	-	-	-	-	0,46

• **Le découpage en 2 classes**

Classe 1

$$F(x)=2/17=0,11, u=0,75$$

$$Lnx = \hat{O} u + \overline{\ln x} = 0,73 \cdot 0,75 + 2,56 \Rightarrow Lnx=3,1 \longrightarrow x=1,13$$

Nb.classes	Limite classe	$n_i p$	n_i	$(n_i - n_i p)^2$	$(n_i - n_i p)^2 / n_i p$
1	>14,16	8,5	6	6,25	0,73
2	14,16/2,51	8,5	11	6,25	0,73
-	-	-	-	-	1,46

On opte pour le découpage de trois (3) classes car $\chi^2 = 0,46$, et $P(\chi^2) > \alpha$ (α : seuil du risque d'adéquation en générale égal à 0,05) d'après l'abaque de PERSON.

Donc, l'adéquation est satisfaisante.

L'intérêt de la détermination des débits maxima probables d'un cours d'eau est évident en raison des effets bien connus de ces évènements hydrologiques.

Lorsqu'on projette la construction d'un ouvrage hydraulique, il faut déterminer le débit maximum probable de la crue à laquelle l'ouvrage devra faire face, en tenant compte des critères suivants :

- Il ne faut pas surestimer ce débit maximum pour entraîner des dépenses inutiles.

- Il faut tenir compte de la durée de vie de l'ouvrage pour déterminer la crue maximale probable qui pourrait se produire pendant cette durée.

Ces crues maximales déterminées par des méthodes théoriques vu l'absence des données hydrologiques du bassin versant.

8. Calcul des crues par des formules empiriques

8.1 Formule de Mallet et Gouthier

Elle est établie à partir des observations faites au nord d'Algérie et de la Tunisie, sous la forme suivante : $Q_{max} = 2K \text{ Log } (1 + AH) \times (S/ L^{1/2}) \times (1+\text{Log } T - \text{Log } S)^{1/2}$ (45)

avec ; S : surface du bassin (567km²) ;

L : longueur du talweg principal (51km) ;

T : période de retour de la crue sur année ;

K et A : coefficients topographiques (K=1,5 et A = 20).

Exemple d'application : T= 10ans on aura ;

$$Q_{max} = 2 \times 1,5 \text{ Log } (1+20 \times 300,3) / (567/51^{1/2}) \times (1+\text{Log}10-\text{Log}567)^{1/2}$$

$$Q_{max} = 301,91 \text{ Q (m}^3/\text{s)}.$$

Les résultats obtenus par cette formule sont représentés ci-dessous.

T (ans)	10	50	100	1000
Q(m ³ /s)	301,91	452,12	503,19	644,40

8.2 Formule de Turazza

Cette formule estime directement les débits maximaux des crues à pas de temps égal x au temps de concentration.

$$Q_{max} = (1/3,6) \times C_e \times I \times S \text{(46)}$$

avec ; I : intensité de la pluie maximale d'une durée égale au temps de concentration, défini par:

$$I = P_{tc} / t_c \text{(47)}$$

où ; P_{tc} : lame d'eau correspondent au temps de concentration ;

t_c : temps de concentration (13,01heurs ; S : surface du bassin ;

C_e : coefficient d'écoulement.

F	0,1	0,5	0,9	0,95
P _{tc}	17,5	28,2	44,83	52,6
C _e	0,06	0,3	0,6	0,75
Q _{max}	12,66	102,41	325,63	477,58
I	1,34	2,167	3,44	4,04

8.3 Formule de Possent

Elle est donnée selon la forme suivante :

$$Q_{max} = (C P_{jmax} / L) (S_m + (1/3) S_p) \dots\dots\dots(48)$$

Avec : P = pluie journalière de fréquence donnée ;

C : coefficient régional (700 à 800), on le prend égal à la moyenne 750) ;

S_m : superficie montagneuse (190,90km²) ;

S_p : superficie des plaines (376,1km²) ;

L : longueur du talweg principal (51km).

Les valeurs de Q_{max} obtenues sont récapitulées ci-dessous

F	0,1	0,5	0,9	0,95
Pr	10	20	50	100
P _{jmax}	20,78	33,47	53,37	62,57
Q _{max}	96,6	155,6	248,12	290,89

8.4 Formule de Giandotti

Elle est donnée se la forme suivante :

$$Q_{max} = C \times S \times P_{tc} \times (H_{moy} - H_{min}) / S^{1/2} + 1,5 \times L \dots\dots\dots(49)$$

Avec:

P_{tc} : pluie de courte durée ; S : surface du bassin (567km²) ;

H_{moy} : altitude moyenne (1109,98m) ;

H_{min} : altitude minimal (900m) ; L : longueur du talweg principale (51km) ;

C : coefficient topographique variant de 66 à 166. (On le prend =166).

F	0,1	0,5	0,9	0,95
P _{ct}	17,50	28,20	44,8	52,6
Q _{max}	256,34	413,08	656,24	770,49

8.5 Formule de Sokolovsky

Elle est donnée sous la forme suivante :

$$Q_{max} = (0,28 \times P_{tc} \times C \times S \times F) / t_c \dots\dots\dots(50)$$

Où ;

P_{tc} : pluie de courte durée ;

C: coefficient d'écoulement ;

S: surface du bassin (567km²) ;

F : coefficient de la formule de l'hydrogramme des crues F = 0,75 ;

t_m : temps de montée de la crue égale t_c ($t_c=13,01$ heurs).

F	0,5	0,9	0,95
P_r	2	10	100
C	0,3	0,6	0,75
p_{tc}	28,2	44,83	52,6
Q_{max}	77,41	246,12	360,96

Tab n°.21 : Récapitulatif des débits maxima de crue à différentes fréquences et selon différentes formules

F	0,1	0,5	0,9	0,95
Turazza	12,66	102,41	325,63	477,58
Socolovsky	-	77,41	246,12	360,96
Giantotti	256,34	413,08	656,24	770,49
Possent	96,60	155,60	248,12	290,89

L'absence des observations hydrométriques, de longue durée au niveau de la station du bassin, nous permet l'utilisation de ces méthodes pour le calcul des débits maximaux des crues probables.

- Toutes les formules donnant des résultats s'accroît avec la fréquence d'où, avec l'intervalle de temps.
- Malgré l'importance des écarts entre les résultats, cela n'empêche pas que ces méthodes donnent des résultats assez concordants pour les débits de différentes fréquences.

9. Hydro grammes de crues

L'hydro gramme des crues représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps de montée, du temps de décente et le temps de base.

La forme de l'hydrogramme de crue est déterminée selon la méthode de Sokolovski qui assimile l'hydro gramme à deux équations paraboliques. (figure .19 et tableau .24) voir annexe.

$$Q_t = Q_{\max(\%)} \times (T / T_m)^2 \dots\dots\dots (51)$$

$$Q_{Dt} = Q_{\max} (\%) \times (T_h - T / T_d)^3 \dots\dots\dots(52)$$

Où ; T_m : temps de montée de la crue ($T_m = T_c = 13,01$ heures) ;

T_d : temps de descente crue ($T_d = \gamma \times T_m$);

Q_t : débit partiel à l'instant (t) ;

Q_{\max} : débit maximum d'une fréquence donnée (x) ;

γ : Coefficient évalué en fonction de la taille du cours d'eau, de la perméabilité et du taux d'envasement du bassin versant.

9.1 Description d'un cours d'eau

- Un petit cours d'eau est vallonné dans les versants faiblement perméables, quand γ appartient à l'écart [2 - 2,5].
- Un petit cours d'eau vallonné dans les versants boisés ou moyennement perméables, c'est un cours d'eau avec terrasses de lit majeur normal, correspondant à : $\gamma = 3$ à 4.
- Le grand et le moyen cours d'eau avec des terrasses de débordement étendues, correspondant aux valeurs de γ appartenant à l'intervalle [4 - 7].

Comme le bassin d'étude a une perméabilité faible à moyenne, la valeur prise au γ est égale 4.

$$\begin{aligned} T_d = \gamma T_m &\rightarrow T_d = 39,03 \text{ h.} \\ T_h = T_m + T_d &\rightarrow T_h = 52,04 \text{ h.} \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(53)$$

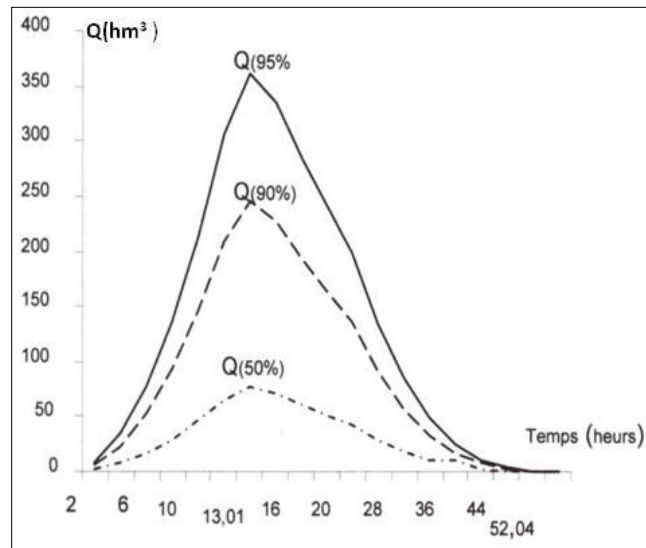


Fig n°.19 : L'Hydro gramme de crue, St. Babar

D'après l'hydrogramme de crues de la station de Babar on remarque ;

- L'intégration des caractéristiques physiographiques et climatiques qui gouvernent les relations entre les précipitations et les débits pour un bassin versant donner ;
- Cependant, les fortes potentialités de l'évaporation et de l'infiltration du milieu du site, les pluies efficaces créent des crues torrentielles ;
- Le phénomène de la crue est lié à l'intensité des pluies.

CONCLUSION

L'étude statistique des données pluviométriques estimée sur le site a montré que le bassin versant d'Oued El-Arab appartient à l'étage bioclimatique semi-aride avec une pluie moyenne annuelle calculée de 300mm/an (de la série), et qu'il influe par le versant nord (amont), plus pluvieux que le bas versant (aval).

Chapitre 4

Quantification empirique de L'érosion hydrique d'Oued El-Arab

Et l'évaluation de la pérennité du barrage Babar

Introduction

L'évaluation et la prévision de l'érosion se font souvent par des méthodes mathématiques. Ces dernières années, les chercheurs se sont intéressés à la localisation et la classification des degrés de dégradation dans une même unité physique à une certaine précision, sachant que la moyenne couvre toujours les valeurs extrêmes qui produisent souvent des dégâts. A cet égard, l'utilisation des données actuelles est une nécessité absolue pour avoir une idée sur l'érosion dans la zone d'étude.

Vu la complexité de ce problème et les faibles nombres d'observations précises et systématiques, il est très difficile d'établir une relation généralisée pour évaluer l'érosion d'un bassin versant quelconque.

L'estimation de l'apport solide nous amène, tout d'abord, à évaluer la concentration solide à partir de l'évaluation du transport solide en suspension, selon plusieurs auteurs, le charriage est estimé entre 15% et 25% de la suspension.

En général, on caractérise les bassins par le transport solide (taux d'abrasion spécifique) pour apprécier les pertes en sol. En revanche, les sédiments charriés durant les crues sont très importants ; d'où le calcul du volume de sédiments déposés dans la cuvette du barrage qui représente le volume mort. Dans cette partie nous avons calculé la concentration solide en crue et le volume de sédiments. Le calcul de ce dernier étant très compliqué, nous avons adopté pour les formules élaborées par l'ANRH, mises au point après plusieurs approches et expériences faites sur de nombreux bassins versants du nord de l'Algérie.

1. Méthodes et formules d'évaluation des apports solides et liquides

L'estimation ou la quantification de l'érosion dans un bassin quelconque, est basée sur les données bathymétriques relevées en vase des ouvrages hydriques, ou par des méthodes empiriques mises au point par des chercheurs. Dans notre cas et en absence de données bathymétriques du barrage de Babar, on fait appel aux relations mathématiques qui sont reliées aux paramètres (climatiques ou hydrologiques) externes agissant sur le degré d'érosion.

1.1 Les Apports liquides

Il existe plusieurs formules pour l'estimation de la lame d'eau écoulée. Ces formules sont généralement liées aux paramètres climatiques ou hydrologiques pour déterminer l'apport annuel théorique.

1.1.1 Formule de Samie

La corrélation entre les débits et les hauteurs de pluies annuelles a conduit M^r. Samie dans ses études sur 12 stations hydrométriques, pour les hauteurs des pluies annuelles qui s'échelonnent entre 250 et 500mm, à établir la formule suivante : $A = L_e \times S \times 10^{-3}$ (54)

Avec : $L_e = p^2 (293 - 2,2 S^{1/2})$

$$L_e = 21,65\text{mm} ;$$

S : surface du bassin (567km²) ;

\bar{P} : Pluie moyenne annuelle (300,02mm) ;

L_e : lame d'eau écoulée en (mm).

$$\text{Donc : } A = 12,28 \text{ hm}^3$$

1.1.2 Formule de Mallet

$$L_e = 0,6 p (1 - 10^{-0,36 \times p^2}) \times 10^3 \dots\dots\dots (55)$$

$$L_e = 12,94\text{mm}$$

$$\text{D'où : } A = L_e \times S \times 10^{-3}$$

$$A = 7,33\text{hm}^3$$

1.1.3 Formule de J. Dery

$$A = 0,915 \times p^{2,68} \times S^{-0,158} \times 10^{-3} \dots\dots\dots(56)$$

$$A = 14,96\text{hm}^3$$

1.1.4 Formule de Coutagne

Son expression est de type : $L_e = P_{\text{moy}} (0,164 - 0,00145 \times S^{1/2}) \dots\dots\dots(57)$

$$L_e = 38,84\text{mm}.$$

$$\text{Donc : } A = L_e \times S \times 10^3$$

$$A = 22,02\text{hm}^3$$

1.1.5 Formule de Sogreah

Elle est donnée sous forme : $E_c = 720 (P_a - P_o/1000)^{1,85} \dots\dots\dots (58)$

P_a : lame d'eau moyenne précipitée en mm.

$$P_o = 250 \text{ mm Si } 1600 > P_a > 318.$$

$$p_o = 150 \text{ mm Si } 318 > P_a > 150.$$

et $E_c = 5\text{mm}$ Si $P_a < 150$.

$$E_c = 21,53\text{mm}$$

$$A = 12,21\text{hm}^3$$

1.1.6 Formule de Medinger (Taïbi, 1989)

$$L_e = 024,1 (P - 0.26) \dots\dots\dots (59)$$

Le : Lane écoulée en mètres ;

P : Pluie moyenne annuelle en mètres.

$$Le = 0,04m$$

$$A = 23,24 \text{ hm}^3$$

1.2 Les apports solides

Les apports solides sont constitués d'une part, de matériaux grossiers charriant sur les fonds des lits et qui s'accumulent en amont du barrage et d'autre part, les éléments fins transportés en suspension qui se déposent par décantation près de la retenue (barrage). La faiblesse ou l'absence totale des mesures directes du phénomène de transport solide sur la vallée de l'Oued El Arab au site du barrage Babar, nous amène à procéder au calcul par des méthodes empiriques (mathématiques). Ensuite, l'estimation de l'apport solide, nous conduit à évaluer le volume du barrage envasé (volume mort).

1.2.1 Formule de Tixeront 1960

Elle est basée sur les données recueillies dans 32 bassins d'Algérie et 9 bassins de Tunisie (dont 04 alimentant des barrages réservoirs), où les superficies varient de 90 à 22 300 Km². La durée d'observation proposée par Tixeront après avoir regroupé les bassins en trois zones d'érosion selon la répartition de la pluviométrie annuelle comme suivant :

- Une zone où la pluviométrie inférieure à 300mm est insuffisante pour causer une érosion appréciable ;
- Une zone où la pluviométrie entre 300 et 700mm, l'érosion est très active ($T_{ss} > 1200 \text{ t/km}^2/\text{an}$) ;
- Une zone où la pluviométrie est supérieure à 700mm qui bénéficie d'un couvert végétal protecteur ($T_{ss} < 350 \text{ t/km}^2/\text{an}$).

A partir de là, il a proposé les relations suivantes :

$$A = 354. R^{0,15} \text{ (bassin tunisiens) ;}$$

$$A = 92. R^{0,21} \quad \text{pour la région de l'Est Algérien ;}$$

$$A = 2000. R^{0,21} \quad \text{pour la région du centre d'Algérie.}$$

Avec ;

A : apports solides spécifiques moyens annuels en T/Km²/an ;

R : la lame d'eau moyenne annuelle écoulée en (mm/an).

Dans notre cas on prend $A = 92. R^{0,21}$

$$A = 198,40 \text{ t/km}^2/\text{ans}$$

1.2.2 Formule de Sogreah 1969

Les formules de Sogreah inspirées des relations de Tixeront, donnent les apports solides spécifiques $A(T/Km^2 /An)$ en fonction du ruissellement annuel de crue (mm) et de la perméabilité des bassins :

$$\text{Perméabilité élevée : } A = 8,5.R^{0,15}$$

$$\text{Perméabilité moyenne à élevée : } A = 75. R^{0,15}$$

$$\text{Perméabilité faible à moyenne : } A = 350. R^{0,15}$$

$$\text{Perméabilité faible : } A = 1400. R^{0,15}$$

$$\text{Imperméable : } A = 3200.R^{0,15}$$

Comme le bassin de Babar a une perméabilité faible à moyenne, nous avons utilisé la relation suivante: $A = 350R^{0,15}$

$$\text{Donc : } A = 556,53 \text{ t/km}^2/\text{ans}$$

1.2.3 Formule d'ANRH

Elle est donnée par la relation suivante :

$$D_s = 4,49.Ct + 7,32.C - 144,28. \dots\dots\dots(60)$$

Avec : Ct : Coefficient de torrentialité (34,89) ; C : indice de fournier (p^2 / p_{an}).

1.2. 4. Formule de Fournier

Cette formule fait intervenir l'indice d'abondance pluviométrique aussi que l'orographie des bassins. Elle est comme suit :

$$D_s = \frac{1}{36} \times C^{2,65} \times \left(\frac{h^2}{S} \right)^{0,46} \dots\dots\dots(61)$$

où D_s : Dégradation spécifique (t / km²/ an) ;

h^2/S : Coefficient orographique (h=h_{mo} y -h_{min}) ;

P^* : Pluie moyenne du mois pluvieux de l'année (43mm) ;

\bar{P}_{an} : Pluie annuelle moyenne (300,02mm);

$$C = \frac{P^*}{\bar{P}_{an}} \text{ : Indices de Fournier.}$$

En plus, il a proposé deux formules appropriées aux paramètres cités précédemment.

$D_s = 27,12.C - 475,4 \longrightarrow$ aux régions des altitudes moyennes.

$D_s = 91,78.C - 737,62 \longrightarrow$ aux régions des altitudes élevées semi-aride.

1.3 Cartographie de la sensibilité à l'érosion

Nous avons étudié la sensibilité des terrains à l'érosion sous l'effet des agents externes, afin de permettre la localisation et la classification des degrés d'érodibilité des sols dans une même unité physique.

1.3.1 Calcul de l'érosivité des pluies

1.3.1. 1 Indice d'érosivité de Fournier ' IF '

Il est donné par la relation suivante :

$$IF = \frac{P_i^2}{\overline{P_{an}}} \dots\dots\dots (62)$$

Avec : p_i^2 : La pluviométrie du mois le plus pluvieux en mm ;

$\overline{P_{an}}$: Hauteur moyenne annuelle des pluies mm/an.

1.3.1.2 Indice d'érosivité Arnoldus 'IFA'

Il a modifié l'indice de Fournier en changeant p_i^2 du mois le plus humide par la somme des moyennes mensuelles du 12 mois de l'année tel que :

$$IFA = \frac{\sum_{i=1}^{n=12} P_i^2}{\overline{P_{an}}} \dots\dots\dots (63)$$

Avec : p_i^2 : Pluie mensuelle de chaque mois de l'année (mm).

$\overline{P_{an}}$: Pluie moyenne annuelle (mm).

1.3.1.3 Calcul de l'érodibilité 'E' de Fournier 1960

Elle est donnée par la relation n° (61).

$$E = (1/36). C^{2,65}. (h^2/s)^{0,46}.$$

Avec ; E : dégradation du sol (t/km²/an) ; $C = IF = \frac{P^2}{\overline{P_{an}}}$, indice de Fournier (mm) ;

$\frac{h^2}{S}$: Coefficient orographique.

1.4 Estimation du taux d'envasement

1.4.1 Calcul de la concentration en crue

Les crues sont provoquées par des pluies de durée très courte, la concentration solide en crue joue un rôle très important dans le calcul des apports solides, l'estimation serait par l'approche suivante :

$$C = \frac{8.(I)^{0,7}}{T_b \cdot \left(\frac{P_a}{1000}\right)^2} \dots\dots\dots(64)$$

- Avec : C : concentration en crue g/l ;
- I : pente moyenne du bassin versant en % ;
- T_b : temps de base en heure ;
- P_a : pluie moyenne annuelle du bassin versant (300,02mm) ;
- Où ; le temps de base sera exprimé comme suit :

$$T_b = T_{b0} + \frac{1,7.L.(P_a \sqrt{I})^{0,577}}{1000} \dots\dots\dots(65)$$

- où ; L: longueur du talweg principal du bassin versant en km (51km) ;
- T_{b0}= 0,78h pour les régions Sud Est du nord de l'Algérie.

La valeur de la concentration en crue doit être corrigée par un facteur multiplicatif dit facteur paysage Mp, tel que ce facteur varie suivant la valeur de l'indice de pente global comme suit (A.Morel, 1993):

- 3 < IG < 4 → Mp = 2
- 5 < IG < 10 → Mp = 3
- IG > 10 → Mp = 4

Pour arriver à déterminer la valeur de la concentration annuelle C_a, on sait qu'il y a une relation entre la concentration en crue et la concentration annuelle tel que :

$$C_a = 1/3. C \dots\dots\dots(66)$$

C'est la valeur qu'on cherche pour déterminer l'apport solide.

1.4.2 Calcul du volume mort du barrage

Il est défini comme le volume de sédiments comblés dans une retenue du barrage. Dans notre cas nous avons utilisé la concentration solide en crue pour déterminer le taux d'envasement du barrage de Babar, avec une densité moyenne prise généralement de l'ordre de $\gamma = 1,6t / m^3$, avec une concentration

annuelle de l'ordre de 87,32kg/m³ et un apport liquide estimé à 22,02hm³ (formule de Sogreah). Le taux d'envasement est donné par la relation suivante :

$$T_{en} = \frac{C_a \cdot A}{\gamma} \dots\dots\dots(67)$$

2. Résultats et discussion

2.1 Les Apports liquides

Les résultats obtenus de l'estimation de la lame d'eau écoulee par ces différentes méthodes sont représentés dans le tableau n°.23 ci-dessous :

Tab n° .23 Récapitulatif des Résultats Empiriques de « Le et A obtenu»

Formule	L _e (mm)	A (hm ³)
Samie	21,65	12,28
Mallet	12,94	7,33
Coutagne	38,84	22,02
Sogréah	21,53	12,21
Medinger	40	23,24
J. Dery	26	14,96

Suivant les résultats obtenus par ces différentes méthodes, on s'aperçoit que les valeurs de l'apport liquide diffèrent d'une méthode à l'autre, cela est justifié par leur utilisation dans des milieux et des différentes conditions.

Seule la valeur calculée par la méthode de Coutagne (22,02Hm³) est proche de la valeur de l'apport liquide moyenne réellement mesuré sur le site (21,83hm³) par ANBT-Khenchela durant la période 2016/2018.

2.2 Les Apports solides

Les résultats obtenus par les quatre formules sont illustrés dans le Tableau n° .24, ci-dessous :

Tab n° .24 : Les résultats calculés par des méthodes empiriques de la 'D_s'

Formule	D _s (t/km ² /an)
Fournier	32,28
Sogréah	556,53
Téxront	198,40
ANRH	80,21

La comparaison entre ces quatre formules n'est pas facile du point de vue de leurs conditions d'application :

- La valeur obtenue par la formule de Fourier est la plus faible. Elle ne reflète pas la réalité de la dégradation spécifique du bassin, car elle est basée uniquement sur la pluviométrie et la pente et ne tient pas compte de la contribution des autres facteurs intervenant dans l'action de dégradation des sols surtout les formations lithologiques et le couvert végétal. DEMMAK (1982) a montré que les 5 bassins susceptibles d'être classés comme appartenant à la zone semi- aride (régions Hodna, Aurès et Chélif Occidental) sortent pratiquement des limites de validité des relations de Fournier.
- La formule de l'ANRH, est appliquée au nord du pays ; c'est pour ça que la valeur estimée est faible.
- A partir de la classification de Tixeront (1960) des zones de l'érosion qui se basant sur la répartition pluviométrique annuelle, le bassin d'étude appartient à la zone d'érosion très active ($300 < P_{an} = 300,02\text{mm} < 700$) et donc la valeur trouvée par cette formule est sous-estimée.
- Seule la valeur calculée par la formule de Sogréah ($556,53 \text{ t/km}^2/\text{an}$) est proche de la réalité de l'état d'érodibilité dans le bassin d'étude et implique les propriétés des milieux étudiés (lithologie). Si on fait une comparaison avec les valeurs de la dégradation spécifique des bassins versants voisinant (El Abiod Tss = 401,2, El Arab (Aval) Tss = $539,1\text{t/km}^2/\text{an}$; avec $P_{an} = 298,8$ et $340,2\text{mm}/\text{an}$; pour la période (1972-1978), cité par : Demmak, 1982 et Bourouba, 1995, mais les mesures in situ reste les plus fiables dans le domaine de l'érosion.

2.3 Cartographie de la sensibilité à l'érosion

L'étude cartographique de la sensibilité des terrains à l'érosion sous l'effet des agents externes nous a permis de localiser et de classer les degrés d'érodibilité des sols sur les cartes comme suit :

2.3.1 Indice d'érosivité Arnoldus 'IFA'

Les résultats de calcul de l'érodibilité pour les indices IF, IFA, E de Fournier 1960, sont reportés dans le Tab n° (25).

Tab n° .25 : Les résultats de calcul des indices 'IF, IFA, E'

Station	IF (mm)	IFA (mm)	E ($\text{t/km}^2\text{an}$)
Babar	06,20	29,69	32,28
El- Hamma	05,28	40,96	21,46
Kais	10,89	37,12	146,25

Les résultats obtenus des calculs de différents indices d'érosivité 'IF, IFA, E, R' sont présentés dans le tableau (26).

Tab n° .26 : Calcul de l'indice de Wischmeier 'R'

Station	Babar	Kais	El-Hamma
Altitude (m)	945	960	1125
Cv	0,38	0,29	0,19
\mathcal{L}	0,28	0,28	0,30
\bar{P}_{an} (mm)	300,02	399,91	456,57
h_1 (mm)	13,19	16,11	15,38
h_{24} (mm)	18,85	19,87	20,6
$P_{j(\%)}$ (mm)	34,35	42,56	40,59
\bar{P}_j (mm)	32,11	41,81	37,34
R (t/km ²)	36,42	58,27	73,44

Tab n° .27 : Résultats du calcul des indices d'érosivité 'IF, IFA, E, R'

Station	R	IF	IFA	E
Babar	36,42	06,20	29,69	32,28
El-Hamma	73,44	05,28	40,69	21,46
Kais	58,27	10,89	37,80	146,25

- Le bassin versant de l'Oued el Arab apparaît être le moins arrosé comparé à ses bassins voisins.
- Les résultats obtenus du calcul des différents indices évoquent une variation dans chaque station, cependant :
 - L'indice de Wischmeier varie en hiérarchie de 36,42 t/km² à 73,44 t/km² respectivement à la station d'El -Hamma à 1125m.
 - Les valeurs calculées des deux indices de 'Fournier et Arnoldus' sont assez faibles dans toutes les stations, ce qui indique la faible quantité de pluies que reçoit le bassin versant.
 - L'indice d'érosion de 'Fournier', malgré ces valeurs sont faibles mais il nous montre une diversité dans sa répartition spatiale.

2.3.2 Etude des corrélations

Les résultats de ces tests de corrélation des indices d'érosivité sont représentés dans le tableau n°.28 ci-dessous et la figure n°.17 (Annexe).

Tab n°.28 : Coefficient de corrélation entre les indices climatiques, pluies et altitudes

Indices	E	IF	IFA	R
P (mm)	0,078	0,046	0,994	0,998
r Altitude (m)	-0,5	-0,56	0,75	0,85

D'après le coefficient de corrélation (r), la relation la plus acceptable est celle de : R, IFA, IF = f (Pan). Mais la plus facile à utiliser est celle qui est liée aux altitudes. La répartition de ces indices d'érosivité suit en général la distribution des précipitations, cependant les valeurs élevées d'érosivité correspondent aux fortes précipitations.

D'après l'étude des corrélations, on constate que la formule de Fournier ne peut pas s'appliquer dans notre région ($r < 0$) ; ce qu'a montré DEMMAK, p169 « les 5 bassins susceptibles d'être classés comme appartenant à la zone semi-aride (régions Hodna, Aurès et Chélif Occidental) sortent pratiquement des limites de validité des relations de Fournier ($Co < 8$) ».

Le zonage des classes d'érosivité était fait en fonction des altitudes, en utilisant les équations de régression pour estimer la valeur de ces variables de n'importe qu'elle poigne dans la zone d'étude tel que :

$$R = 0,158.H - 104,18$$

$$IF = -0,0171.H + 24,68$$

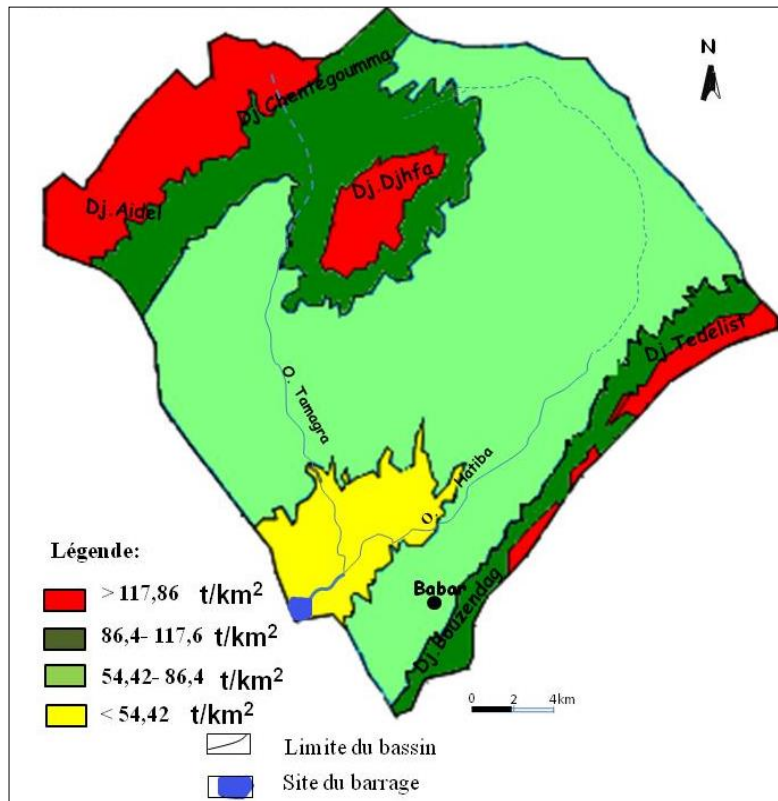
$$IFA = 0,0431.H - 7,4535$$

$$E = -0,3512.H + 421,48$$

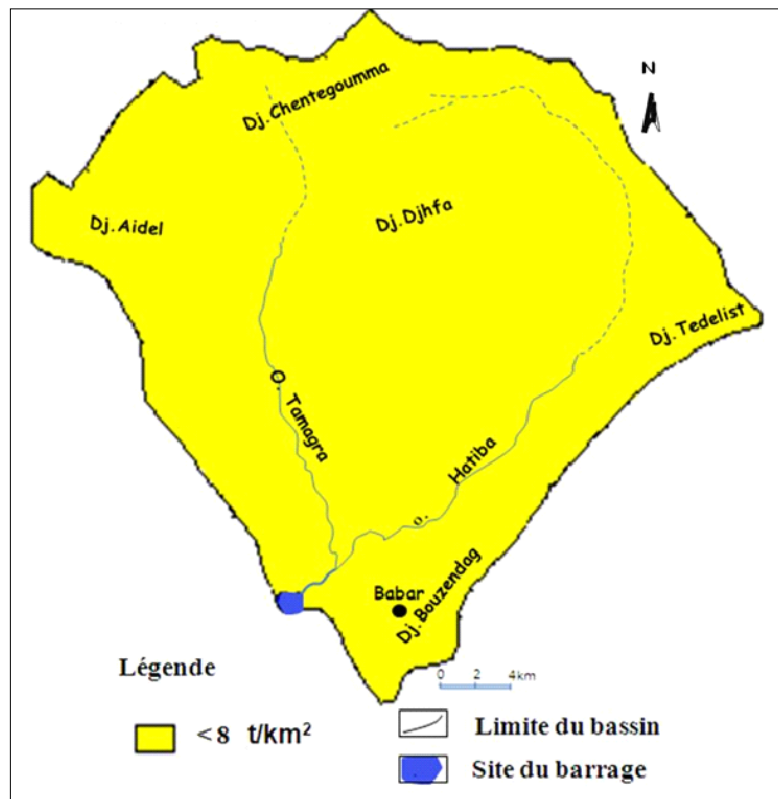
Exemple de zonage des classes d'érosivité des indices ' R, IFA '

Classes d'Altitudes	R	IFA
900- 1000	38,56-54,42	31,33-35,64
1000-1200	54,42-86,14	35,64-44,26
1200-1400	86,14-117,86	44,26-60,34
≥ 1400	≥ 117,86	≥ 60,26

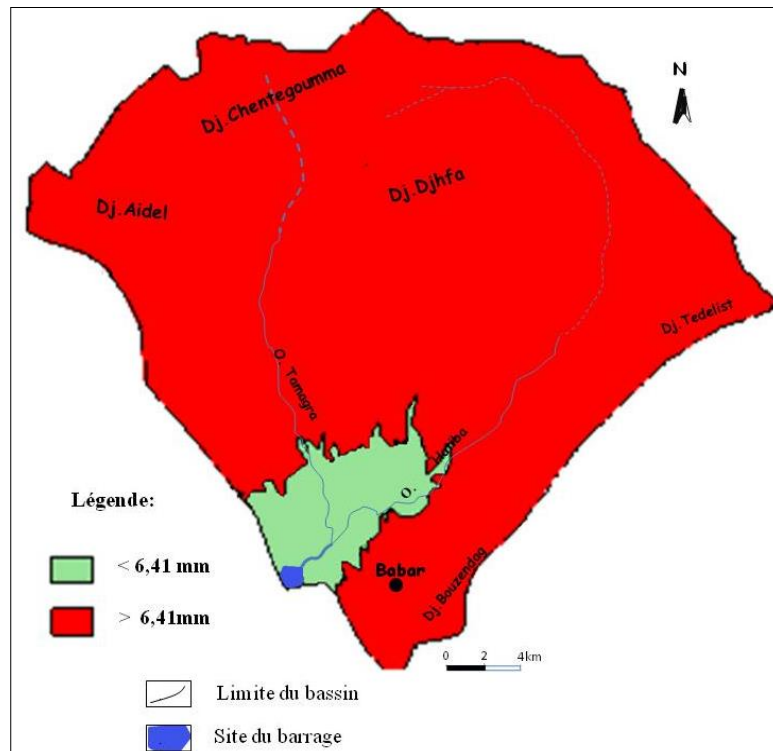
La cartographie d'iso érosivité des pluies des terrains du bassin versant d'oued El- Arab est établie dans les cartes n°. (7,8, 9, 10 et 11) ci-dessous.



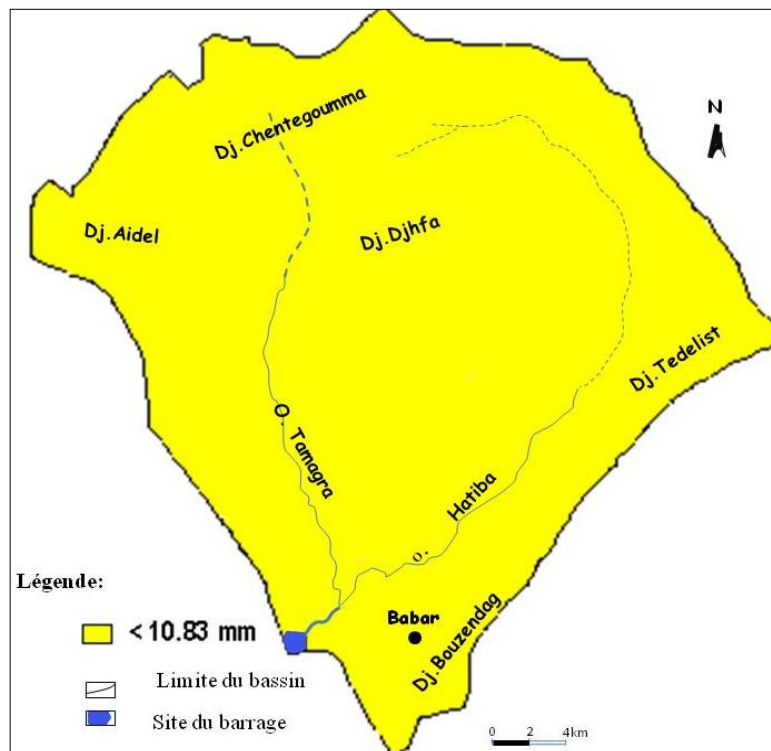
Carte n°.7 : Bassin versant Oued El-Arab ; Indice d'érosivité Wischmeier ' R '



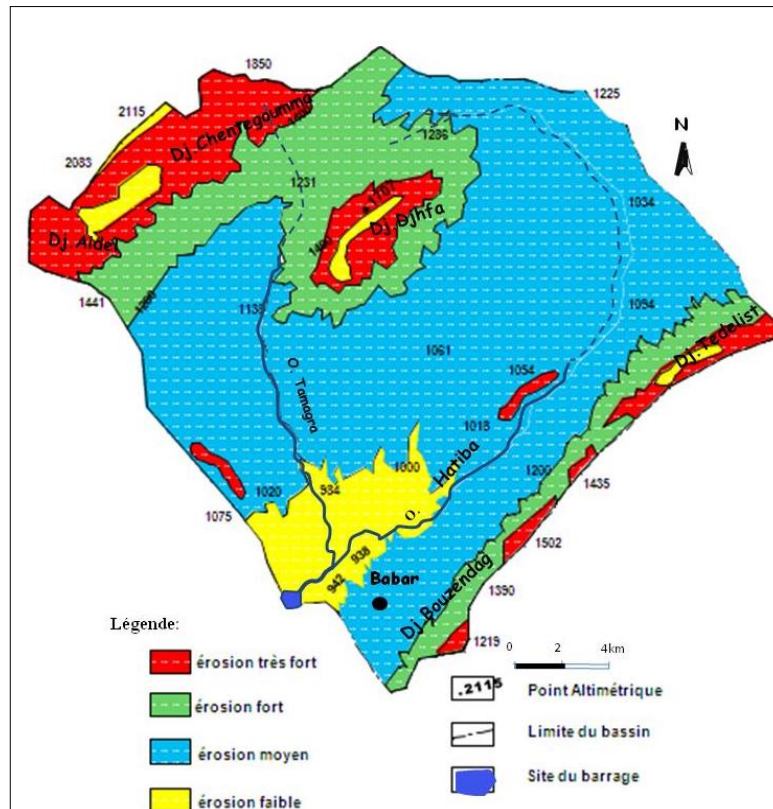
Carte n°.8 : Bassin versant Oued El-Arab ; Indice d'érosivité ' E '



Carte n°.9 : Bassin versant Oued El-Arab ; Indice d'érosivité fournier ' IFA '



Carte n°.10 : Bassin versant Oued El-Arab ; Indice d'érosivité Arnoldus ' IF '



Carte n°.11 : Bassin versant Oued El-Arab ; carte de synthèse d'érosivité des sols

L'étude cartographique montre que :

- La zone qui s'intercale entre 900 et 1000 m présente un risque d'érosion pluviale faible.
- La zone entre 1000 et 1200 m : désigne les piedmonts de la plaine de Djehfa a un risque d'érosion pluviale est moyen.
- La zone de 1200 et 1400m : Représente la zone des montagnes, le risque d'érosion pluviale est élevé.
- La zone de plus de 1400m : zone de hautes montagnes, le risque d'érosion pluviale est très élevé.

2.4. Estimation du taux d'envasement (La pérennité de l'ouvrage)

2.4.1 Calcul de la concentration en crue

2.4.1. 1. Calcul de la concentration solide en crue

$L=51\text{km}$

$P_a = 300,02\text{mm.}$

$T_{b0} = 0,78\text{h}$

$I = 5,8\%$

On remplace les variables en obtient :

$$T_b = 4,65 \text{ heures}$$

D'où :

$$C = 65,49 \text{ g/l.}$$

Nous avons :

$$IG = 28,97 > 10 \Rightarrow M_p = 4$$

On aura la valeur de la concentration solide en crue finale :

$$C = 65,49.4$$

$$C = 261,97 \text{ g/l.}$$

2.4.1.2. Calcul de la concentration solide annuelle

Nous avons : $C_a = 1/3. C$

$$\text{Donc : } C_a = (1/3). 261,97 = 87,32 \text{ g/l ou } \text{kg} / \text{m}^3.$$

Une telle concentration indique un potentiel érosif important surtout s'il faut la majorer légèrement en raison des caractéristiques lithologiques particulières du bassin d'Oued El Arab.

La dynamique érosive du bassin versant a montré qu'il est caractérisé par une grande érodibilité. En effet la structure géologique essentiellement marneuse, des pentes relativement importantes et la faiblesse ou l'absence totale du couvert végétal, fait que tous les processus d'érosion sont très dynamiques. Ces processus sont par ailleurs exaspérés par les pratiques culturales de la région à savoir une céréaliculture même sur les versants pentus. Cette érodibilité est provoquée par les valeurs très élevées de l'ablation spécifique liée surtout par les valeurs des concentrations annuelles en transport solide (C_a) qu'est de l'ordre de 87,32g/l.

2.4.2 Calcul du volume mort du barrage

Le volume mort du barrage Babar représente le volume de sédiments comblé dans la retenue du barrage. Dans notre cas, nous avons utilisé la concentration solide en crue pour déterminer le taux d'envasement du barrage de Babar, avec une densité moyenne prise généralement de l'ordre de $\gamma = 1,6 \text{ t} / \text{m}^3$, avec une concentration annuelle de l'ordre de $87,32 \text{ kg} / \text{m}^3$ et un apport liquide estimé à $22,02 \text{ hm}^3$ (formule de Sogréah). Nous avons trouvé que le volume mort est de l'ordre de $1201741,5 \text{ m}^3$. Cette valeur est proche à celle trouvée par (Morsli B, et al, 2009), le taux d'envasement est compris entre $1 < T < 3 \%$ /an. Donc la pérennité de l'ouvrage de Babar avec ce taux d'envasement annuel ne dépasse pas 34ans. Si ce volume est légèrement majoré en raison des caractéristiques lithologiques du bassin versant, on constate que le taux d'envasement de notre ouvrage est très élevé et risque même de réduire sa durée de

vie très rapidement. Une telle quantité annuelle de vase augmente si des aménagements ne sont pas réalisés rapidement et efficacement sur l'ensemble du bassin versant.

CONCLUSION

L'ouvrage du barrage de Babar a été conçu pour recevoir un volume total de 41.10^6 m³. Suivant les données qu'on a pu se procurer sur le bassin versant et qui sont toutefois incomplètes et indispensables pour certaines observations (qui nous seront très utiles pour faire une comparaison bien précise tels que les débits solides calculés à partir d'une station sur le site), nous avons fait appel à des formules d'approche empirique qui nous ont donné les résultats cités précédemment (calcul des apports solides) sur la valeur du taux d'abrasion que représente le bassin versant. Notre analyse montre que cet ouvrage est exposé au risque de l'envasement rapide (1,2 hm³).

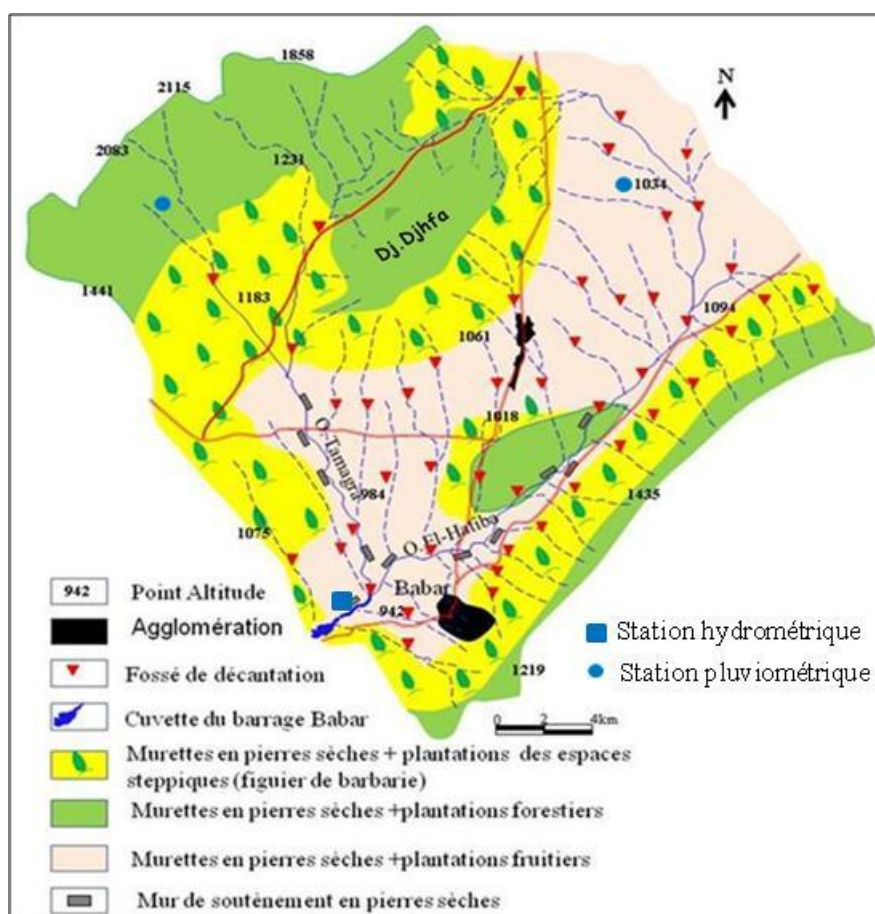
L'intervention, par un plan d'aménagement efficace sur le milieu physique est d'une nécessité importante pour assurer la pérennité de cet ouvrage.

Chapitre 5

Plan d'aménagement et perspectives

INTRODUCTION

Face au risque de dégradation des terres, nous proposons, dans ce chapitre un programme de protection du bassin versant d'El Oued El Arab, pour promouvoir la préservation du barrage de Babar. Les solutions que nous proposons sont en fonction du degré de sensibilité à l'érosion dans chaque zone. En effet, nous avons choisi les techniques de restauration des sols tout en tenant en compte l'efficacité des pratiques, le coût de réalisation et le développement environnemental de la région. La carte n°.12 montre les différents œuvres préconisés afin de cerner la problématique d'envasement du barrage.



Carte n°12 : Bassin versant Oued El-Arab ; Propositions d'aménagement

1- Fossé de sédimentation

La création d'un réseau de fossés est une mesure de gestion des écoulements. Le volume de fossés est variable (de 0,5m à 3m de largeur environ), à fonction variée (vidange d'étangs, drainage des terres agricoles, évacuation des eaux de voirie...). La densité des fossés ne soit cependant pas homogène sur la zone d'étude (Durais J, 2009). Pour notre étude, L'intersection des principaux affluents (Oued Tamagra et Oued .El- Hatiba) constitue un très important site pour réaliser un fossé de sédimentation indispensable pour la gestion

directe du barrage de Oued EL Arab, cet ouvrage peut garder la plus grande quantité de sédiments qui vient de la partie amont, surtout les éléments transporté par charriage et les sables grossiers, également sur toute la superficie du bassin versant Oued El Arab nous préconisons au moins 35 fossés, ce réseau de fossé permettra dans un premier temps de délimiter les sous-bassins versants, puis de localiser les mesures de gestion des écoulements. A titre d'exemple, en France au niveau de la Chalaronne, un réseau de 188 fossés est réalisé dans un bassin versant de 570Km² de surface. En revanche Remini et al, 2009 ont déclaré que les fossés et les retenues collinaires qui stockent l'eau et les sédiments avant leur arrivée dans les grands barrages sont une option, mais celle-ci n'est souvent qu'un simple déplacement du problème vers l'amont. La véritable solution consiste plutôt à empêcher l'érosion dès l'origine. De ce point de vue, les modes d'utilisation des terres sont très importants

2- Murettes

Les murettes sont très répandues en Algérie. Ils ont un effet antiérosif et c'est un obstacle au ruissellement et « trappe » à sédiments. C'est une technique adoptée aux fortes pentes (12,5 – 20%) afin de gérer les sédiments, de stabiliser les ravines et glissements de terrain. Elles se sont construites en pierre sèche sous forme linéaire ; selon les courbes de niveau. Cette méthode est proposée pour les zones à érosion forte où les sols sont squelettiques et pauvres. La présence des matériaux pierreux dans le bassin versant d'El Oued El Arab est un avantage qui peut assurer la fourniture en matériaux de construction des ouvrages anti-érosifs (Photo n°1. La relation de construction des murettes est basée sur la formule de Saccardy, comme suit : La densité des murettes : $N = L (P-I)/H$.

N : nombre des murettes ;

L : largeur de versant (m) ;

P : pente (%);

I : pente de compensation (1% ou 2%) ;

H : hauteur de murette (0,5 m).

L'espacement entre les murettes dépend de la pente ; mais on peu calculer l'espacement moyen. $E = L / N$.

L : longueur de versant en mètre ;

N : nombre des seuils.



Photo n° 1. Seuil de sédimentation en murettes de la pierre sèche
(Cliché Aouachria M.)

3- Les banquettes

On connaît cette forme d'aménagement en premier lieu au Yémen et en Ethiopie puis en Afrique du Nord comme en Algérie, au Maroc et en Tunisie. Ce sont des levées de terre de faible hauteur (0.50 m) établies selon les courbes de niveau ; elles sont généralement plantées par des arbres permettant de valoriser les surfaces marginales, de fixer les ouvrages et d'améliorer l'infiltration. Ce sont de petites terrasses horizontales, perpendiculaires à la ligne de la plus grande pente, dans le but de remodeler une parcelle. Le talus à l'amont de la banquette dépasse rarement 1 mètre de haut. La largeur du bourrelet varie de 0.5 à 2.5 mètres (Touihri N. 2012). Elles sont destinées à réduire la longueur de la pente et d'empêcher l'eau d'atteindre la vitesse érosive ainsi qu'à évacuer l'excès du ruissellement vers l'exutoire. En Tunisie, il y a eu plusieurs générations de banquettes, celles mises en place à Siliana et à Kairouan entre les années de 1962 et 1975 (Fauck et al., 1991) et jusqu'à nos jours, les banquettes restent toujours l'aménagement le plus répandu.

Au niveau du bassin versant d'Oued El Arab, le caractère des pentes fortes et l'effet destructif des écoulements de surface nous obligent à établir un réseau de banquettes sur la zone et en piedmonts où la dominance des formations meubles. Cependant la mise en œuvre est basée sur la méthode de Saccardy. Saccardy a proposé deux formules pour le dénivelé des banquettes, après une étude de relation entre la pente et la nature des formations. La relation est établie pour les pentes inférieures à 25% comme suit : $H3/P = 260 \pm 10$ (Relation I).

La deuxième relation pour les pentes supérieures à 25% $H3/P = 64$ (Relation II).

Avec : H : dénivelé en mètre ; P : pente en (%).

Dans notre cas les pentes du bassin versant sont inférieure à 25%; alors qu'on utilisant la relation (I). Alors l'évaluation de la longueur optimale de la banquette sera selon la nature et le type de sol.

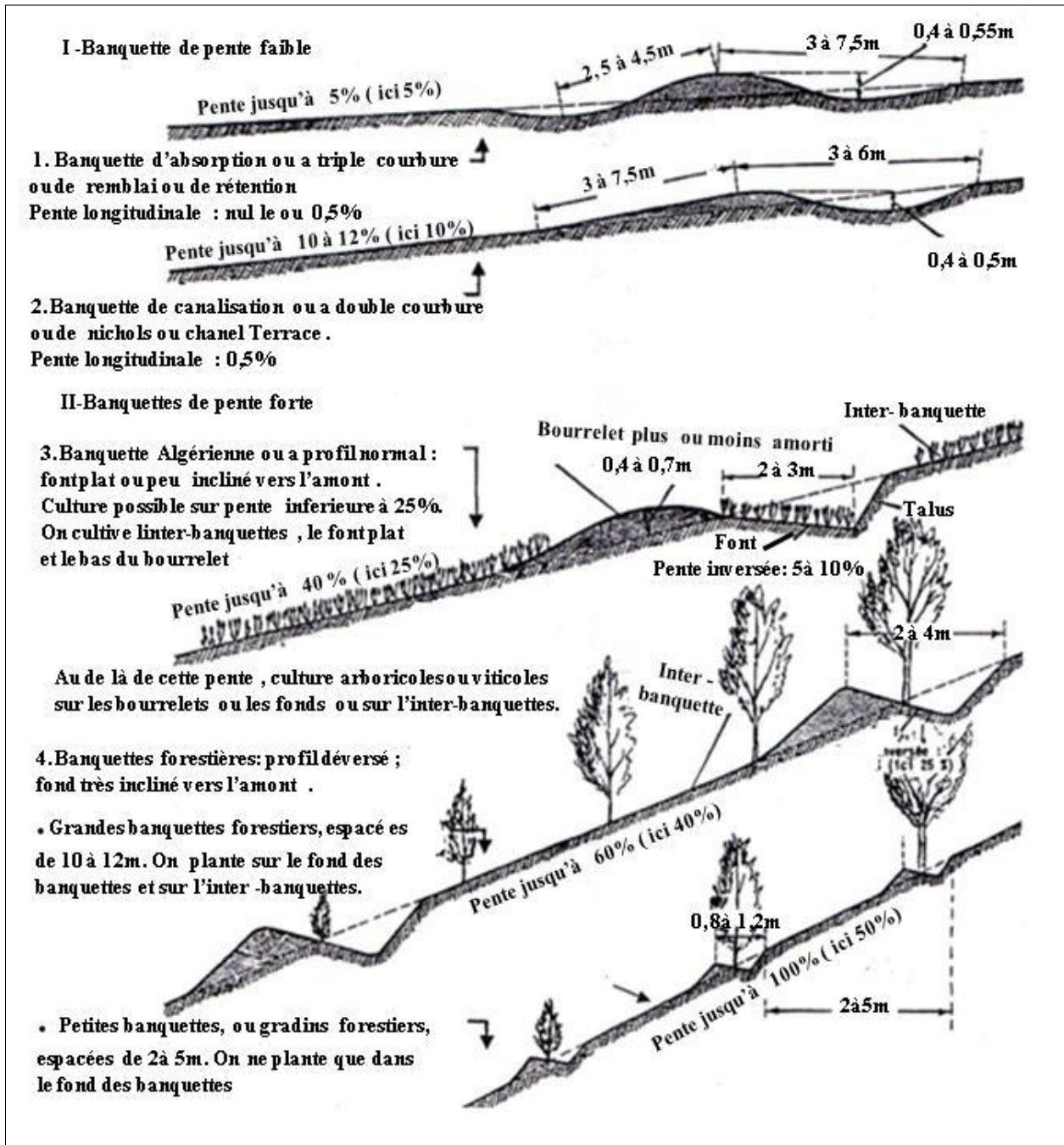


Schéma n°2 ; Méthode de construction des seuils pour abaisser les pentes du versant (Soltner 1989).

4- La lutte contre le sapement des berges

Pendant les écoulements violents, le courant détruit les berges concaves dans le système des méandres. En effet, le creusement rapide et continu des cotés verticaux des oueds est causé

par l'action des crues au niveau des méandres et des virages où se produit la concentration des crues contre un côté de l'oued du fait de l'inclinaison de son lit (Touihri N, 2012). Pour remédier à cette problématique deux techniques opérationnelles sont proposées :

a- Les épis

Un épi est un ouvrage transversal au courant, enraciné dans une berge, barrant partiellement le cours d'eau et peut être partiellement submersible. Cet ouvrage sert à éviter la concentration des crues le long des parois par déflexion vers le milieu du lit et à créer des conditions favorables pour l'implantation de la végétation permettant de stabiliser en permanence les berges érodées. L'encrage latéral, qui est la partie enracinée dans la berge, empêche le déplacement latéral des épis. Le contre-épi est le prolongement de l'ouvrage dans le cours d'eau perpendiculairement au courant. L'épi proprement dit assure la déviation de l'écoulement vers le milieu du cours d'eau et fait un angle de 70 à 80° par rapport à la direction de l'écoulement. L'épi de rejet est orienté vers l'aval et est perpendiculaire à l'épi destiné pour ralentir la vitesse de l'écoulement et par conséquent provoque la sédimentation. La semelle supporte l'ensemble de l'ouvrage pour assurer sa stabilité au basculement (Touihri N, 2012). L'épi s'appelle aussi les jetées, caractérisé par :

- La longueur ne dépassant pas 1/3 ou 1/4 de largeur du talweg ;
- La hauteur ne dépassant pas 1,5 à 2,5 mètres.

La construction de la première jetée se fait dans le point d'influence du méandre, (le point le plus sensible dans la rive concave) avec une déviation de 45° vers le centre d'Oued ;(d'où la ligne A X en parallèle avec le courant). Elle se projette dans la rive sur le point B qui se situe entre les deux premières jetées et le troisième épi ; c'est l'intersection de la ligne AA avec la rive. Ainsi, de la même façon, on peut réaliser les autres. L'espacement entre les épis dans les berges convexes est de 2 à 2,5 fois la longueur des épis. Ces deniers doivent être très bien fixés dans les berges et le fond des Oueds pour assurer une bonne résistance à l'énergie destructive d'écoulement, surtout que l'Oued El-Arab est caractérisé par un écoulement de crues violentes.

Nous proposons aussi l'installation des murs assez larges (0,5 à 1 m) au travers des ravins torrentiels pour réduire la vitesse des crues et protéger les berges.

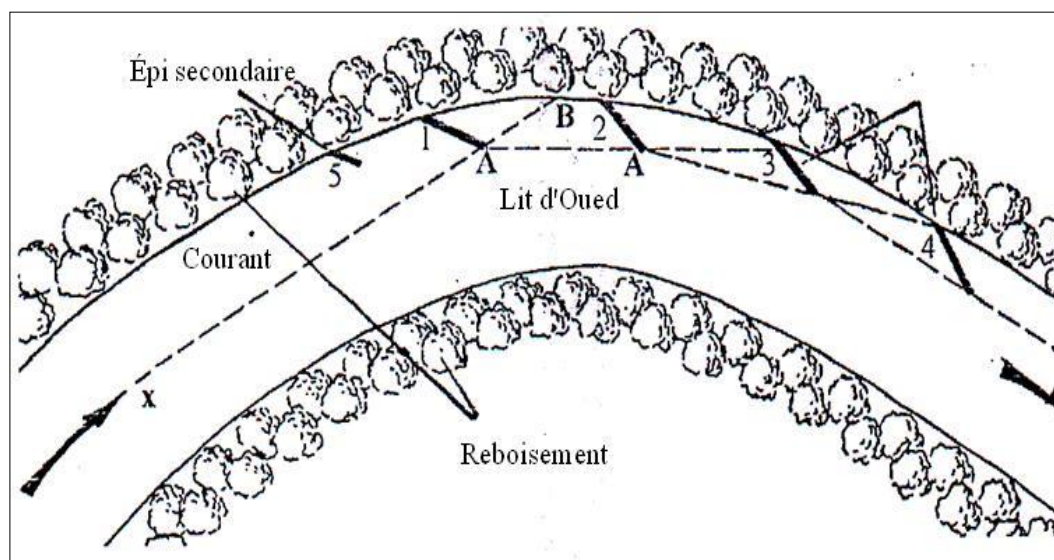


Schéma n° 3. Protection des rives concaves avec des épis (brisé le coron d'eau) Soltner 1989.

b- Le gabionnage

Le gabionnage est un moyen pour minimiser la pénétration de matériaux solides dans une retenue. Il s'agit de l'aménagement des bassins versants par la réalisation de la correction torrentielle des thalwegs et l'aménagement de cours d'eau en créant des ouvrages de correction dans la gorge du torrent. Lesquels ouvrages arrêteront les matériaux et diminueront la pente. Ceux sont des aménagements déterminants, réduisant l'érosion à sa source. (Remini, Avenard, Kettab 1997), (Laura, Ibanez, Sophia 2003). Le gabionnage est sous forme d'une boîte de fil en fer galvanisé remplie par des galets de taille différente. La protection des berges avec les gabions n'est pas coûteuse et donne un beau paysage.

Cela se fait par remplissage l'un sur l'autre pour couvrir les berges. Les fondations doivent être de 0,6 à 1 mètre selon la dynamique de l'Oued. Cette méthode est aussi utilisée pour la protection des méandres sous forme d'escaliers. La considération des dimensions des Oueds (section transversale) est indispensable pendant la réalisation des gabions.



Photos n° 2. Seuil de sédimentations en Gabions et en pierres sèches (Cliché Aouachria M.)

5- La restauration des ravines

Le comblement progressif des petites ravines et les têtes de ravines par cailloux, permet de piéger rapidement les sédiments grossiers et de stopper l'approfondissement de la ravine dès sa naissance. Cependant, il reste souvent une ondulation du versant par où circule le ruissellement venant de l'amont : cette zone restera fragile et il est prudent de la couvrir de végétation pérenne.

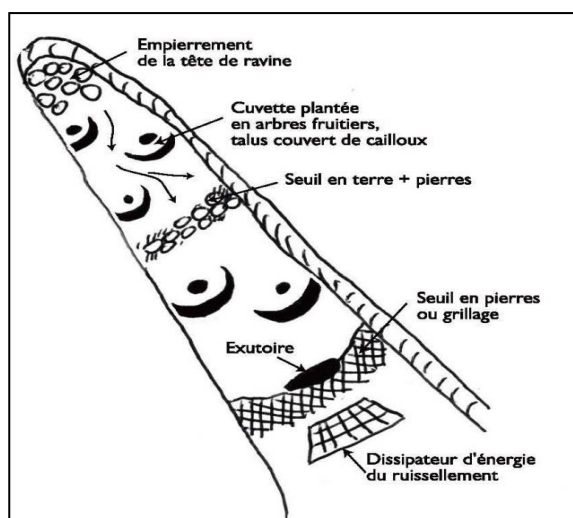


Schéma n°4. Comblement et végétalisation des jeunes ravines. (Mohamed Sabir, 2014)

6- La protection de la cuvette du Barrage

La surélévation de la cuvette constitue l'une des techniques qui permet de prolonger la vie d'un barrage. L'utilisation des gabions est la meilleure approche, car ils résistent aux forces d'entraînement des vagues d'eaux. La hauteur des gabions doit être plus de 20 à 30 cm du niveau des berges pour que les sédiments se coïncident hors de la cuvette, ainsi que le reboisement autour de la cuvette (Photo n°3.)

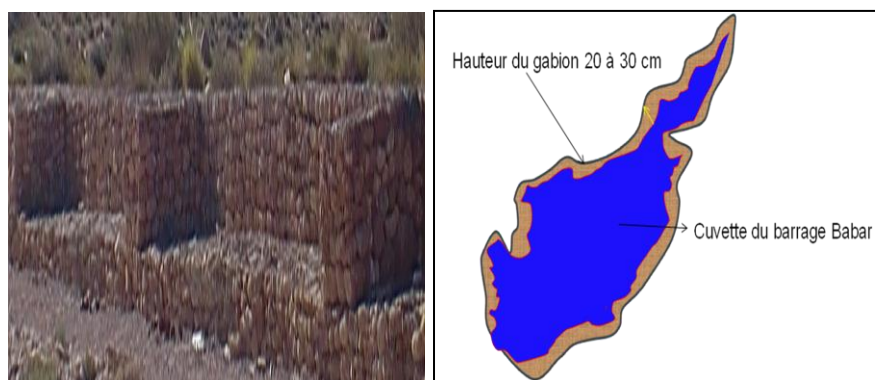


Photo n°3. Protection de la cuvette du barrage par gabionnage (Cliché Aouachria M.)

L'augmentation de la hauteur de la digue permet de compenser le volume d'eau perdu en profondeur occupé par la vase. Cette opération est très encourageante (Kassoul, A Albdelgader, M Belorgey 1997). En Algérie, neuf barrages ont été surélevés. Toutes les opérations de surélévation en Algérie ont permis de récupérer jusqu'en 2007 une capacité de 100 millions de m³.

7- Une gestion optimale du barrage

La méthode la plus utilisée pour récupérer une capacité utile du barrage est la chasse des sédiments par la vidange du fond. L'expérience d'Ighil Edma a montré qu'il est possible d'évacuer 50% des apports solides (Demmak, 82). L'efficacité de cette technique dépend de la situation de vidange de fond, qui peut évacuer un débit de 20m³/s et de la topographie de la cuvette (de pente 2,08%). Ces deux conditions sont bonnes dans notre cas. Mais, elles demandent une bonne connaissance de la concentration et du transport des sédiments au fond de la cuvette par ce que :

- Une ouverture de vidange avant le temps 't' induit une perte de l'eau ;
- Une ouverture de vidange après le temps 't' engendre des risques sur les équipements de vidange de fond et aussi une perte de l'eau ; c'est pour cette raison la proposition de fossé de sédimentation permet de garder les éléments charriés de l'Amont, et abaisser celle de l'Aval.

Le volume de l'eau perdu par cette méthode, sera récupéré en aval, à partir du barrage foun El-Gharza ; depuis la période coloniale, il est destiné à l'irrigation.

Cette méthode pratique consiste à évacuer les sédiments drainés par les courants de densité sur le fond de la retenue en utilisant les vannettes dévasement ou vanne de fond du barrage. Les opérations de chasse et le soutirage des courants de densité doivent être maîtrisées afin d'arriver à évacuer le maximum de vase avec un minimum d'eau. En Algérie, D'après Remini, la technique du soutirage peut être un moyen efficace de lutte contre l'envasement des retenues des barrages en Algérie, compte tenu de son faible coût et surtout de la présence des courants de densité dans l'ensemble des retenues. Son rendement peut atteindre 70 % des apports solides totaux entrant dans la retenue, c'est à dire que la durée de vie de l'ouvrage sera augmentée d'un tiers. Le barrage d'Ighil Edma est parmi les premiers au monde à avoir été équipé d'un dispositif installé spécialement pour le soutirage des sédiments. La durée de vie de ce barrage est ainsi multipliée par trois.

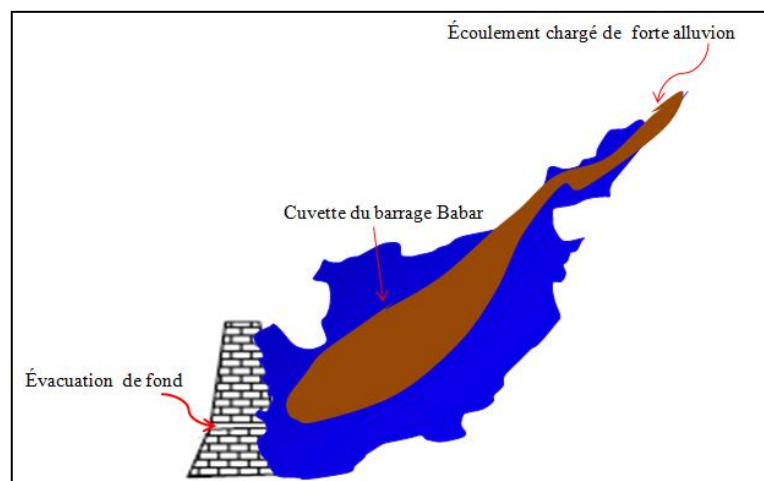


Schéma n° 5 : Dévasement du barrage par évacuation du fond

8. Le reboisement

La lutte mécanique (murette, banquette...) Doit être soutenue par une intervention biologique complémentaire (Druais J, 2009). Il est évident que les terrains occupés par une couverture végétale, connaissent une dégradation moindre que les terrains nus, $10,7 \text{ T/Km}^2/\text{an}$ contre $200 \text{ T/Km}^2/\text{an}$ (Gaberiel, 1974). La végétation permet la stabilité des terrains à travers le système racinaire qui maintient la structure physique des différentes couches du sol. Cette méthode est proposée par plusieurs chercheurs quelque soit la région géographique (Miramon-Ricquebourg R, 1997. Daoudi A et al, 2013. Mohamed Sabir, et al 2014. Alary, V. 2015).

La plantation des arbres soit typique à la zone à restaurer. Au niveau des zones forestières, les propositions de reboisement sont basées sur les espèces existantes dans la zone d'étude notamment le chêne vert, pin d'Alep et le cèdre de l'atlas, également l'Eucalyptus est revendiqué à cause de son système racinaire très dense.

En revanche, les expériences des agriculteurs montrent que l'implantation des arbres fruitiers donnant des bons résultats, notamment l'olivier qu'est une espèce vivace et non exigeante. La croissance des jeunes arbres (plantations) permet de restaurer la fertilité physique, chimique et biologique du sol (Mohamed Sabir, et al 2014).

L'amélioration des parcours, devant la faiblesse de production en biomasse de la zone d'étude, il faudrait améliorer le terrain pour que le milieu régénère la partie Herbacée. Nous suggérons la mise en défens au niveau du bassin versant de l'Oued El-Arab, il s'agit d'une mise au repos de terrains dégradés pour permettre la croissance du fourrage au niveau des zones steppiques (Aidoud A., 1989, Salemkour N et al, 2013).

9. Proposition d'aménagement technologique et logistique du barrage

- Création des stations de mesure couvrant tout le périmètre du bassin versant d'Oued El Arab, est une piste intéressante à explorer pour une bonne connaissance des facteurs climatiques et Hydrologiques par :
 - Installation d'un réseau de contrôle climatique et de débit (stations de jaugeage),
 - Mesure de la concentration de l'eau dans l'oued principal et pendant l'évacuation des eaux avec la vidange de fond,
 - Réalisation de parcelles expérimentales pour le contrôle de l'érosion.
- Création d'un service de suivi et l'entretien des actions d'aménagement réalisé en collaboration avec les populations pérennes du bassin versant.

CONCLUSION

Toutes les propositions citées précédemment permettent de minimiser l'érosion dans le bassin versant d'Oued El-Arab et par conséquent assurer une durée de vie optimale du barrage de Babar et un développement durable dans la zone d'étude. Les recherches ont montré qu'il est possible de réduire les risques d'envasement des barrages par l'érosion hydrique. Le reboisement constitue la meilleure solution. En effet le recours aussi à des aménagements antiérosifs peut être simple et efficace. Lorsque l'envasement d'un barrage atteint un seuil critique, plusieurs choix sont possibles : l'abandon progressif de l'aménagement et la réalisation d'un nouveau barrage, le dévasement du barrage, la surélévation de la digue. L'abandon d'un barrage est souvent problématique et ne fait que reporter le problème à l'aval.

CONCLUSION GENERALE

Le travail élaboré dans le cadre de cette thèse nous a permis d'une part, de mettre en évidence les principaux facteurs intervenant dans l'érodibilité des sols dans le bassin versant amont d'Oued El -Arab, au site du barrage Babar qui présente l'une des vallées du massif des Aurès sis à l'Est Algérien et d'autre part, de montrer l'impact sur la pérennité de l'ouvrage hydrique " barrage".

Nous avons conclu que le bassin d'étude a :

Environ 40% des terres du bassin versant ont des pentes forte à très fortes, ce qui augmente la capacité érosive dans le zone d'étude à 79,39 t/ha ; sous cette condition, l'érosion est excessive ;

Un caractère orographique fort avec $IG=28,97\text{m/km}$, $Ds=689,82\text{m}$;

Une formation lithologique vulnérable au risque d'érosion hydrique, plus de 80% de constitution à faible résistance. Il s'agit des alluvions formées de limon, argiles, graviers, galet et des éluviaux tant sur les terrasses des oueds , qu' au niveau de la plaine de Djhfa au centre du bassin .

Un couvert végétal très faible s'étalant d'une manière ponctuelle et n'occupant que 8% de l'espace du bassin versant étudié (forêts naturelles dégradées);

Plus de 86% des terrains du bassin versant à une perméabilité faible à moyenne, donc forte ruissellement ;

Un aspect morphométrie favorisant la concentration des ruissellements (relief très accidenté $k_c=1, 12, \dots$) ;

De faibles quantités de précipitation (300 mm/an en moyenne), avec distribution saisonnière irrégulière coïncidant avec la saison d'automne sous forme d'averses (pluies orageuses).

Nous avons élaboré un modèle statistique qui établit la relation des quantités débits et solides transportées vers le barrage où, nous avons trouvé un taux d'abrasion annuel estimé de (556,53 t/km²/an) par la méthode SOGREAH,

L'analyse et le traitement des indices d'érosivité des pluies nous a permis de conclure que la prédiction de la perte en sol due à l'agressivité des pluies dans cette zone dépasse les 117 t/km²/an. Nous avons trouvé que l'indice d'érosivité de Wischmeier est de : 36.42 t/km² ; 58.27 t/km² et 73.44 t/km² respectivement pour la station Babar, Kais et El -Hamma.

Nous avons calculé le volume mort du barrage de Babar où nous avons trouvé la concentration solide en crue est de $1,2\text{hm}^3$. Si cette valeur est légèrement majorée en raison des caractéristiques lithologiques du bassin versant on constatera que le taux d'envasement de notre ouvrage est très élevé au risque même de réduire sa durée de vie (34ans).

Nous avons réalisé une étude cartographique de la sensibilité du terrain à l'érosion hydrique, et sur cette base nous avons déduit une carte de synthèse d'érosion de la zone d'étude qui spatialise les terrains les plus sensibles à l'érosion hydrique. Ce qui nous oriente à intervenir par un plan d'aménagement judicieux sur le bassin versant amont d'Oued El-Arab dans le but de la protection de ces terres contre l'érodibilité et pour ce là, nous suggérons :

- Un reboisement des zones à fortes pentes ;
- Des corrections des sens de ravinement et ;
- L'intégration pérenne des citoyens dans les opérations de développement de la zone (action participative des populations riveraines).

Toutes les propositions citées précédemment permettent de minimiser l'érosion dans le bassin versant d'Oued El-Arab et donc d'assurer une durée de vie optimale du barrage de Babar et par conséquent un développement durable dans la zone d'étude.

BIBLIOGRAPHIE

- AOUACHRIA M. BOUZIENNE MT. MERADI S. MADI M. 2020. Evaluation of sensitivity to water erosion by climate indices in the oued valley of El arab-Algeria. Int. J. Forest, Soil and Erosion. 10 (2). 15- 23.

- ACHITE M. MEDDI M. 2005. Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina (nord-ouest algérien) Spatial and temporal variability of streamflow and solid yields in semiarid areas. Case of the oued Mina basin (Northwest Algeria). Revue des sciences de l'eau. 18, numéro hors-série. 21-25.

- ACHITE M. Touaibia B. Ouillon S. 2006. Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences et Perspectives. 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco. Conference Paper, p. 6.

- ALARY V. 2015. Changement climatique : impacts et adaptations. Cirad . Agropolis International. Numéro 20. Page 75.

- Agence National des Ressources Hydrique, ANRH. 1991. Acte sur l'érosion des sols et l'envasement des Barrages.

- Agence National des Ressources Hydrique, ANRH. 2004. données pluviométriques 71/2004.

- ACHAF G. et al. 2005. Analyse des composantes du milieu physique et risque D''érosion dans le bassin versant de Oued Mellagou, W. Khenchela, Mémoire d'ingénieur d'Etat en Aménagement du milieu physique, Université de Batna.

- Addad K. 2017. Etude de l'envasement du barrage d'Ouled mellouk (wilaya d'Ain defla).Master. Ecole nationale supérieure d'hydraulique. Arbaoui abdellah.75p.

- BERKANI Z. et al. 2004. Faisabilité d'un barrage en terre sur Oued El-Arab, commune de Babar, wilaya de khenchela, Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydraulique Université de Batna.

- BNEDER. 1992. Plan directeur d'aménagement de la wilaya de Khenchela.

- DRIDI H. KALLA M. 2010. Cours de Géologie Générale, -Géodynamique externe-, O.P.U. 1, place centrale de Ben-Aknoun, Alger.

- Benahmed H.2021. Valorisation des sédiments d'envasement du barrage de kramis dans le domaine de génie civil MAGISTER Université des Sciences et de la Technologie d'Oran.
- Boubakeur M et Lakhal R. 2021. Problèmes de risque d'envasement des Barrages (cas du barrage Ain Dalia Souk Ahras). Master. Université Mohamed El Bachir ElIbrahimi Bordj Bou-Arreidj.91p.
- DAOUDI M. et al. 1995. Contribution à l'évaluation du transport solide en suspension dans le bassin versant de l'oued k'sob -Hodna-, Mémoire d'ingénieur d'Etat en Aménagement du milieu physique, U.S.T.H.B.
- Daoudi A. Terranti S. Hammouda RF. Bédrani S. 2013. Adaptation à la sécheresse en steppe algérienne : le cas des stratégies productives des agropasteurs de Hadj Mechri. Cah Agric 22 : 303-10. doi : 10.1684/agr.2013.0629.
- Druais J. 2009. Caractérisation de l'érosion et du ruissellement des territoires aval de la Chalaronne. Propositions de mesures de gestion. Mémoire d'ingénieur Agronome. Université de Montpellier.
- DUMAS. 1964. Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cahiers O.R.S.T.O.M, série pédologie 2965.
- Demmak AM. 1982. Contribution a l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale, thèse de doctorat Université pierre curue-paris 6.
- FRANCIOS TOMAS.1977. Annaba et Sa Région, Organisation de l'espace dans l'extrémité Est Algérien.
- FOURNIER F. 1960, Climat et érosion P.U.F, Paris.
- Fauck et al, 1991. Evaluation sur les techniques de conservation des eaux et du sol en Tunisie. Projet PNUD/FAO TUN 86-020.
- GRECO J. 1966. L'érosion la défense et la restauration des sols -le reboisement en Algérie, M.A.R.A, Alger.
- GRECO J. 1978. La défense des sols contre L'érosion I.S.B.N Paris.

- GABRIEL J. 1974. Travaux fluviaux, collection de la direction des études et recherches d'électricité de France.
- GEODOROF A. 1965. Mécanisme de l'érosion par la pluie, revue de géographie et de géologie dynamique, fascial 2, Paris.
- GUILLEOT J. 1977. Eléments de géologie, E N S P M, Edition TECHNIP, Paris.
- HALIMI A. 1980. L'Atlas Bledien, climats et étages végétaux O.P.U, Alger.
- HADDOUCHE I.1998. Cartographie pédo paysagique de synthèse par télédétection (image Landsat TM) cas de la région de Ghassoul (El bayadh). Thèse de magistère. Institut National d'Agronomie (INA) Alger.143p.
- Hafi t, Bouhoreira b, Atia a. 2021. Etude d'évolution de l'envasement dans le barrage de fontaine des gazelles -w- Biskra. mémoire master. Universite El-Oued. 98p.
- Kassoul M. Albdelgader A. Belorgey M. 1997. Caractérisation de la sédimentation des barrages en Algérie. Revue des sciences de l'eau.
- Kazi Tani Hicham Abdesslam. 2019. Estimation et modélisation des transports solides, utilisation du SIG pour la cartographie des zones a risque d'érosion hydrique. Application au bassin versant du barrage meffrouche. Thèse doctorat en science En Hydraulique, Université Abou Bakr Belkaid Tlemcen.
- Miramon-Ricquebourg Raymonde, 1997. Cartographie des zones sensibles a l'érosion dans les Rougiers de Camarès (Sud-aveyron). Application à une région test sur la commune de Montlauraut. Laboratoire d'études du Comportement des Sols Cultivés. Université de Montpellier.
- Meddi M. 2015. Contribution a l'étude du transport solide en Algerie du nord. Larhyss journal, issn 1112-3680, n°24, décembre 2015, pp. 315-336.
- Ministère de l'agriculture. 1979. Technique des Barrages en aménagement rural.
- MEGHNI A. 2001. Etude comparative du barrage de Koudiet M'Douar, Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydraulique Université de Batna.
- Marc C. 1981. Mutations rurales en Algérie, le cas des hautes plaines de l'est, 2'édition.

- Ministère des finances. 2001. Monographie de la wilaya de Khenchela, D.P.A.T de la wilaya.

Ouamane A, Sekkour I; Athmani B. 2022. Mobilisation des eaux de surface: Commentaires généraux sur les barrages en Algérie dans le passé, le présent et le futur. *Agua y Territorio*, 20 · pp. 107-121. DOI 10.17561/at.20.5298.

Ouanassi M et Salhi M. 2021. Etude de la possibilité d'une éventuelle réhabilitation et mise en eau dans le barrage de Foum El Geuiss,Kais, wilaya de Khenchela (N, E Algérien). Université Larbi Tebessi –Tébessa.101p

- ROCHE M. 1973, Hydrologie et aménagement des eaux O.R.S.T.O.M serie n°1.

- REMINI B. 1996, Envasement des Barrages, O.P.U. de Blida.

- Remini B. Leduc C, Hallouche, W. 2009. Evolution des grands barrages en régions arides : quelques exemples algériens. *Sèchresse* 20 (1). 96 – 103.

- Remini B. Avenard J. M. Kettab A. 1997. Livre de l'envasement des barrages. pages 5 a 89.

- ROOSE É.1990, Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens de l'Afrique occidentale. ORSTOM. Fonds Documentaire N°27.542.ex1. Montpellier. France.55-72p.

- RERBOUDJ Ab-M. 2005, Essai de quantification de l'érosion et perspective de la protection du barrage de fontaine des gazelles contre l'envasement Mémoire de magister, en Aménagement du territoire Université de Batna.

Remini B. 2005. L'alluvionnement des retenues. Edité par le laboratoire : eau-Roche-Plante (ERP).Centre Universitaire Khemis Miliana Algérie.

Remini B. 2017. Une nouvelle approche de gestion de l'envasement des barrages. *Larhyss Journal*, n°31, pp. 51-81.

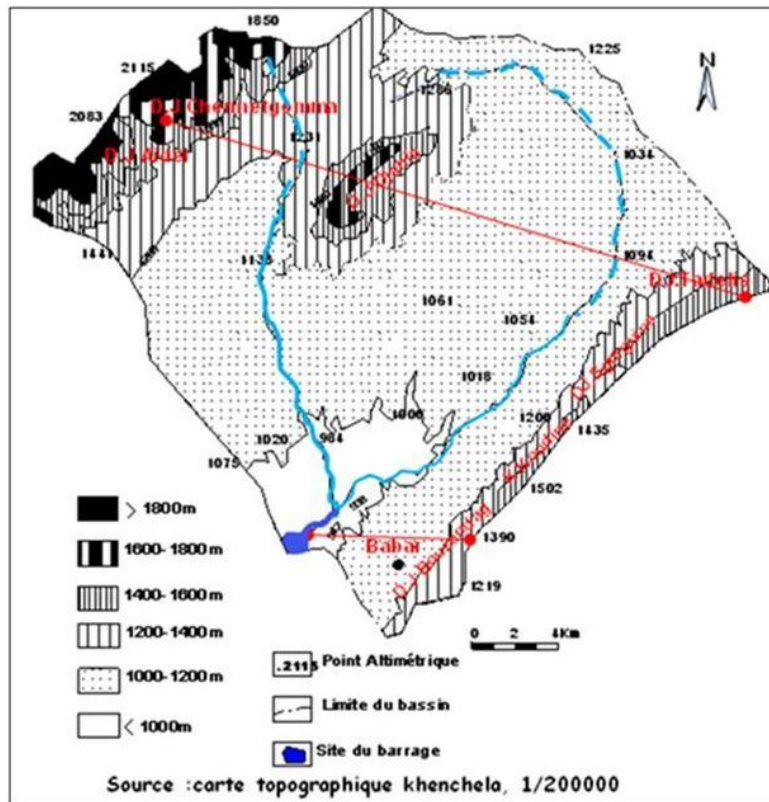
- LAURA F. IBANEZ F. BENOIT G. SOPHIA A. 2003. Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens Etude bibliographique.

- LE BISSONNAIS Y. THORETTE J. BARDET C. DAROUSSIN J. 2002. L'érosion Hydrique Des Sols En France. Copyright INRA, IFEN.ifen-inra.doc. Document d'érosion des sols en France. p. 106.

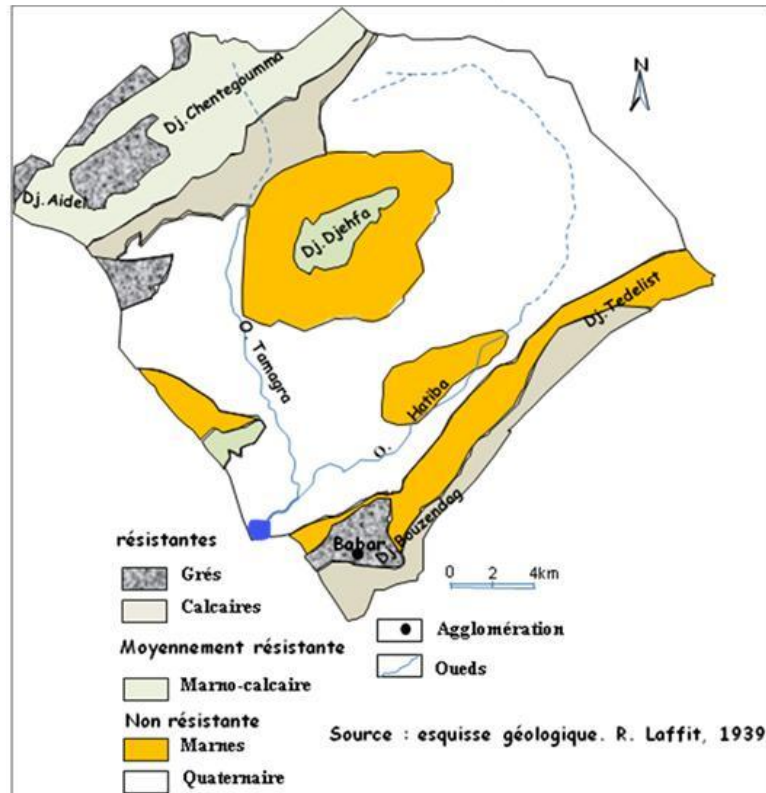
- SABIR, M. ROOSE, É. AL KARKOURI, J. 2014. Gestion durable des eaux et des sols au Maroc .Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. Chapitre 6. Les techniques traditionnelles de gestion de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. p. 117-193. <https://books.openedition.org/irdeditions/327>. pp 344. Editeur IRD Éditions.
- SAHRAOUI A. et al. 2005. Evaluation numérique et cartographique de l'érosion des pluies dans le bassin versant de l'oued reboa, Mémoire de magister, en Aménagement du territoire Université de Batna.
- SALEMKOUR N. BENCHOUK K. NOUASRIA D. KHERIEF S. NACEREDDINE M. BELHAMRA M. 2013. Effets de la mise en repos sur les caractéristiques floristiques et pastorale des parcours steppiques de la région de laghouat (Algerie).JARA.
- STEIN B J. 1988. La géographie dynamique applicable a l'aménagement, boulevard saint germain, Paris, France.
- SUNDBORG A. 1986. Problème d'érosion, transport solide et sédimentations dans les bassins versants.
- SEIGUE A. 1985. La foret circumméditerranéenne et ses problèmes, édition mais on neuve, paris.
- SARI A. 2002. Initiation à L'hydrologie de Surface, cours édition- distribution houma.
- TOUIHRI N. 2012. Application du modèle SEAGIS pour l'évaluation des risques érosifs dans le bassin versant du lac collinaire de M'Richet el Anze (Bargou, Siliana). Mémoire d'ingénieur. Ecole Supérieure des Ingénieurs de l'Équipement Rural de Medjez el Bab. Tunisie.
- TADRIST, N. OLIVIER, D. REMINI, B. DIMITRI, X. ET AURORE,D. 2016. Impact de l'érosion sur l'envasement des barrages, la recharge des nappes phréatiques côtières et les intrusions marines dans la zone semi-aride méditerranéenne : cas du barrage de Boukourdane (Algérie). Biotechnologie agronomie environnement., 20(4), 453-467.
- TOUAHIR S. ASRI A. REMINI B. ET HAMOUDI S.2018. Prédiction de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Zeddine et de l'envasement du barrage Ouled Mellouk (Nord-Ouest algérien). Géographie Physique et Environnement, volume : 24 (2), p. 167-182.

- Tadrif N, O Debauche, B Remini, D Xanthoulis et A Degré. 2016. Impact de l'érosion sur l'envasement des barrages, la recharge des nappes phréatiques côtières et les intrusions marines dans la zone semi-aride méditerranéenne : cas du barrage de Boukourdane (Algérie). DOI: 10.25518/1780-4507.13281
- VIERS G. 1982. Eléments de climatologie, paris.
- VILA J.M. 1980. La chaîne alpine d'algie orientale et ses confins Algéros- Tunisiens, paris, Pierre et Marie Curie.
- YVETTE V. 1998. L'érosion Entre Nature Et Société. Editeur **Sedes** .344p . ISBN 2-7181-9189-9.
- WISCHMEIER W H. SMITH D D. UHLAND R E. 1958. Evaluation of factors in the soil-loss equation. Agricultural. Engineering 39. pp. 458- 462.

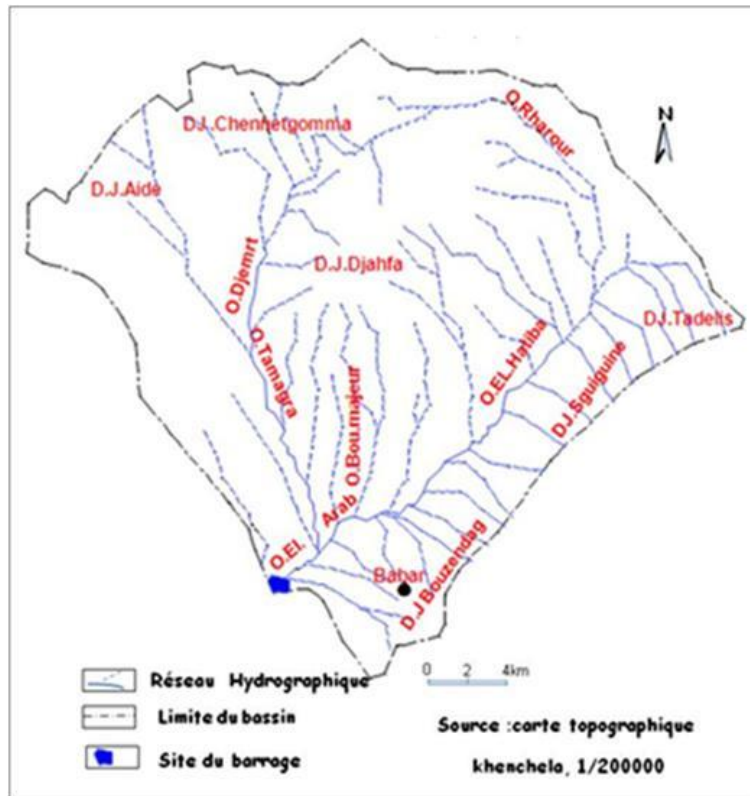
Annexe



Carte n°1 : Bassin versant d'Oued El-Areb ; Les Altitudes

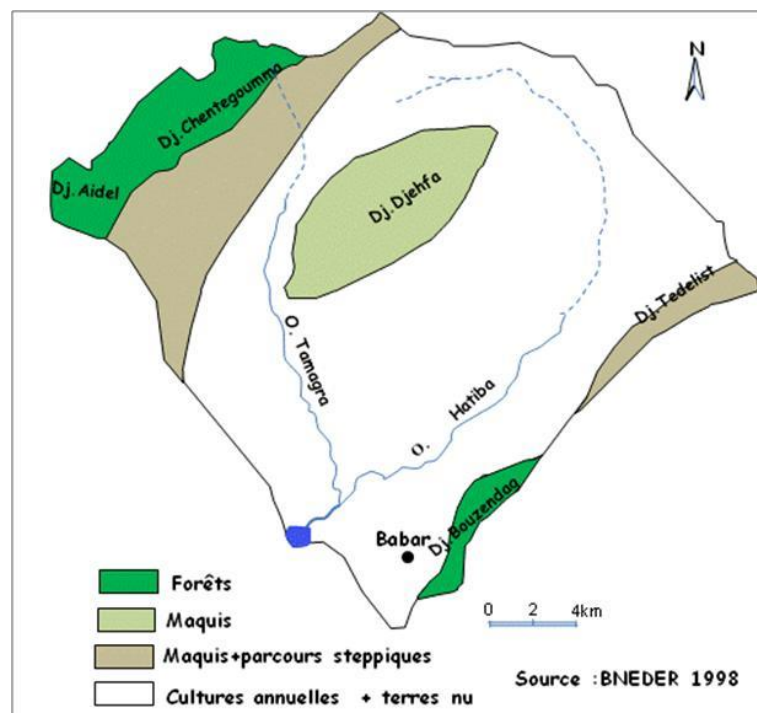


Carte n°3 : Bassin versant d'Oued El-Areb ; La lithologie



Carte n°.4: Bassin versant d'Oued El-Areb ; réseau hydrographique

Carte n° .5 :BV O. El-Arab ; La pédologie



Carte n°.6: Bassin versant d'Oued El-Areb ; Occupation du sol

Tab n° .10 : Précipitation annuelle pour les mêmes séries d'observation

Station	El. Hamma	Cumule	Babar	Cumule	Kais	cumule	Kt. Souda	Cumle
1971	429,4	429,4	151,9	151,9	359,4	359,4	156	156,0
1972	641,8	1071,2	347,5	499,4	663,2	1022,6	208,8	364,8
1973	457,9	1529,1	225,2	724,6	404,4	1423	175,8	729,6
1974	378,9	1908	112,5	837,1	287,5	1710,5	145,4	875,0
1975	495,5	2403,5	256,8	1093,9	454,2	2164,7	184,3	1059,3
1976	637,8	3041,3	461,5	1555,4	657,4	2822,1	239,7	1299
1977	455,2	3496,5	362,8	1918,2	396,6	3218,7	213	1512
1978	283,7	3780,2	264,6	2182,8	151,5	3370,2	186,4	1698,4
1979	407,8	4188	326,7	2509,5	328,9	3699,1	203,2	1901,6
1980	510,3	4698,3	355,3	2864,8	475,3	4174,4	210,9	2112,5
1981	369,2	5067,5	134,9	2999,7	273,3	4649,4	151,4	2263,9
1982	573,7	5641,2	331,8	3331,5	565,9	4923	240,6	2468,5
1983	356,7	5997,9	165,2	3487,7	255,8	5468,9	157,2	2625,7
1984	452,9	6450,8	181,7	3669,4	404,1	5744,7	164,1	2789,8
1985	425,2	6876	239,00	3908,4	364,61	6148,8	179,5	2969,8
1986	435,5	7311,5	382,3	4290,7	379,3	6513,41	218,2	3187,5
1987	368,2	7679,7	331,3	4622	283,2	6899,71	204,5	3392
1988	414,2	8093,9	289,7	4911,7	348,31	7175,91	193,2	3585,2
1989	405,9	8499,8	293,9	5205,6	337	7524,22	194,4	3779,6
1990	561,9	9061,7	640	5845,6	559,8	7861,22	287,8	4067,4
1991	462,3	9524	312,5	6158,1	417,5	8421,02	199,4	4266,8
1992	508,1	10032,1	254,8	6412,9	483,3	8838,52	183,8	4849,4
1993	442,6	10474,7	225,6	6638,5	389,4	9256,02	175,9	5026,3
1994	329	10803,7	252,5	6891	288,3	9739,32	110,9	5136,2
1995	542	11345,7	342,6	7233,6	454	10128,72	216,8	5353,0
1996	492	11837,7	380,3	7613,9	473,91	10417,02	182,3	5535,3
1997	409	12246,7	354,5	7968,4	381,6	10871,02	185	5720,3
1998	413	12659,7	251,7	8220,1	365,1	11344,93	260,5	5980,8
1999	516	13175,7	319,3	8539,4	339,3	11726,53	254	6234,8
2000	404,6	13580,3	133,8	8673,2	293	12091,63	166,2	6401
2001	357,4	13937,7	245,8	8919	269,3	12430,93	157,3	6550,3
2002	417	14354,7	256,5	9175,5	347,4	12723,93	1616	6719,8
2003	550,2	14904,9	461,6	9637,1	521,9	12993,23	248,35	6968,8
2004	618,6	15523,5	563,5	10200,6	611,5	13340,63	271,6	7239,7

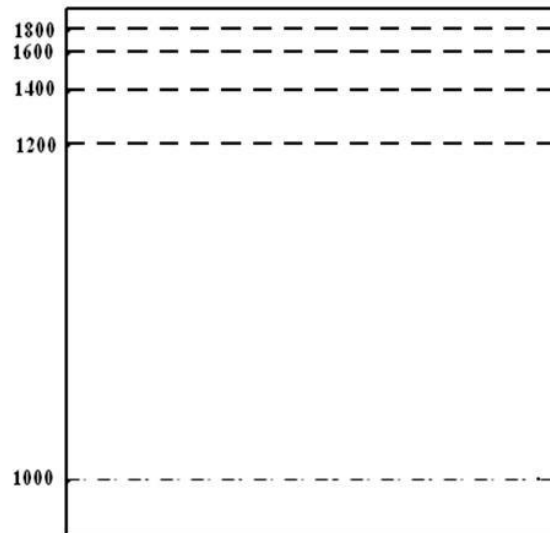


Fig n°.4: Le Rectangle équivalent du bassin versant oued El-Arab

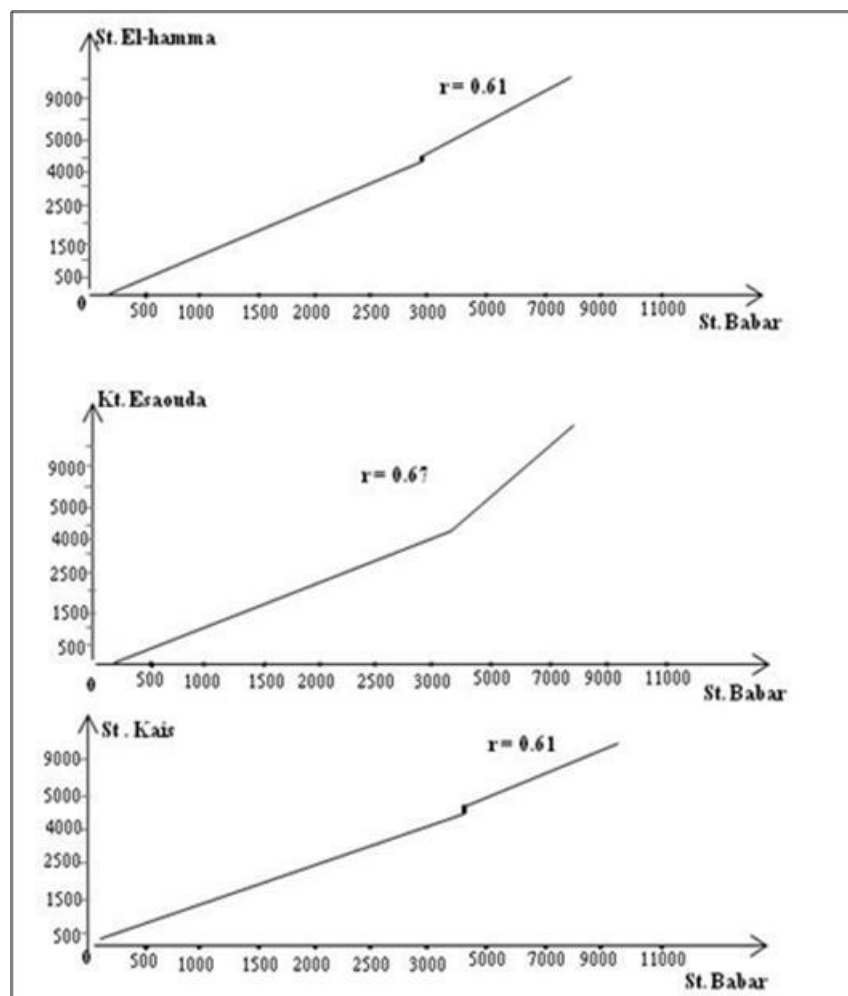


Fig n°06 : Courbes des doubles cumuls

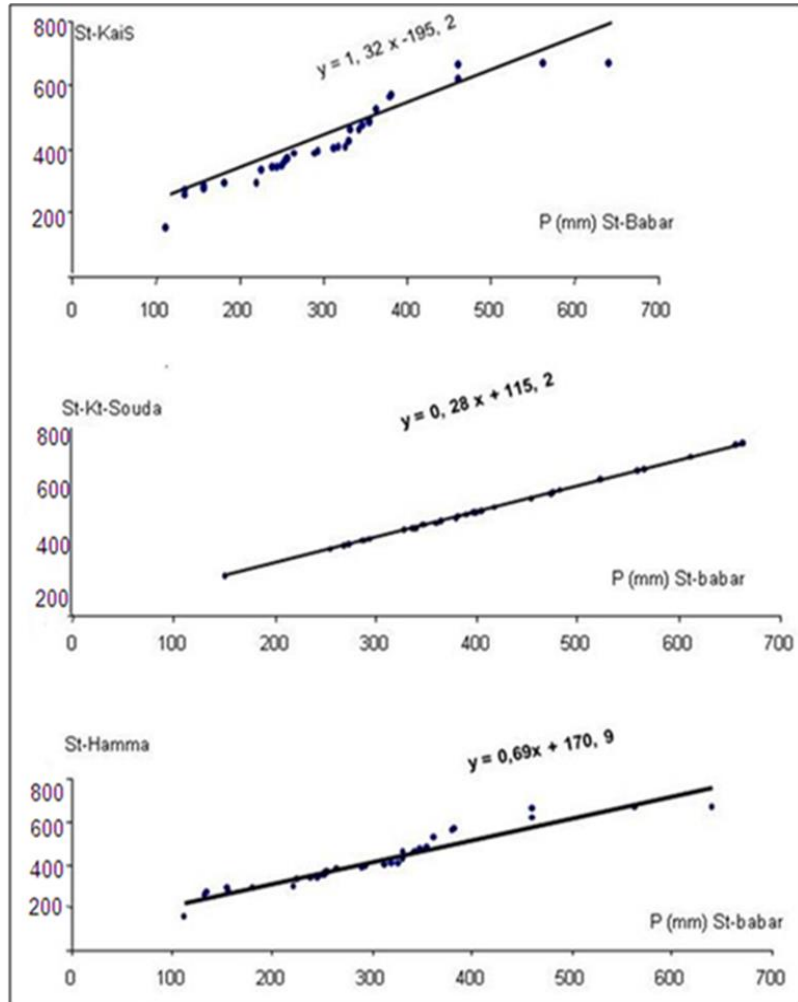


Fig n° 7: Comblement des lacunes par la méthode de régression linéaire

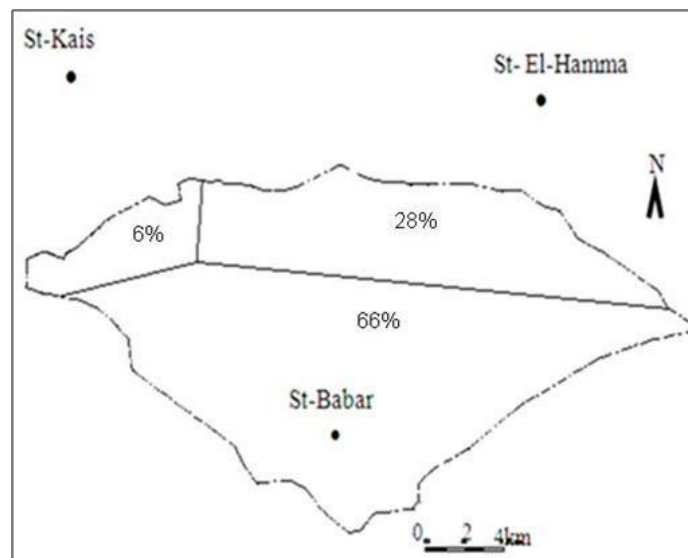
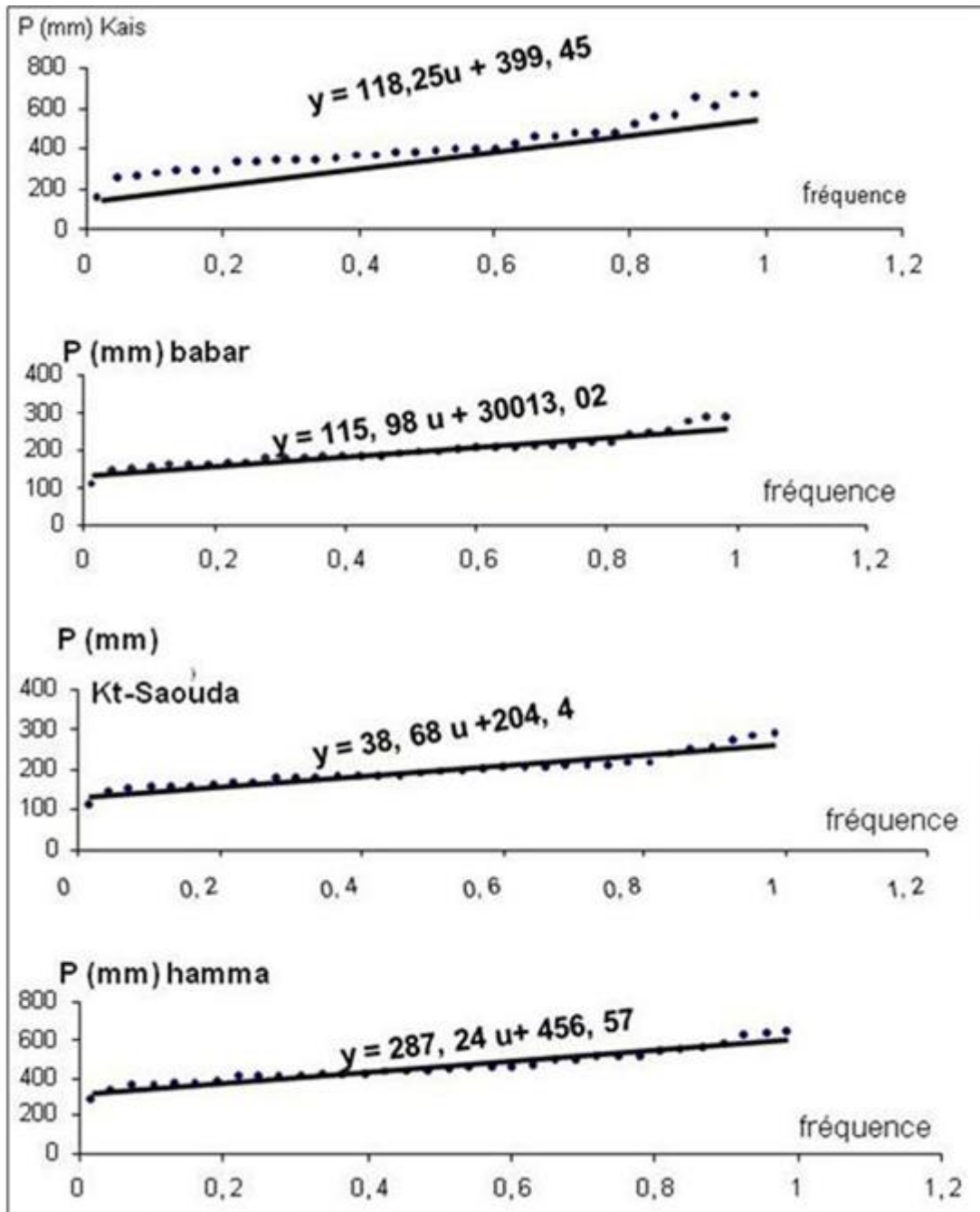


Fig n° 9 : Polygone de Thiessen



Tab n°. 11 : pluies annuelles

Rang	BABAR	HAMMA	K. SOUDA	KAIS	F
1	112,5	283,7	110,9	151,5	0,014706
2	133,8	329	145,4	255,8	0,044118
3	134,9	356,7	151,4	269,3	0,073529
4	156,9	357,4	156	273,3	0,102941
5	156,2	368,2	157,2	287,3	0,132353
6	181,7	369,2	157,3	288,3	0,161765
7	221,2	378,9	161,5	293	0,191176
8	225,6	404,6	164,1	328,9	0,220588
9	239	405,9	166,2	337	0,25
10	245,8	407,8	175,8	339,3	0,279412
11	251,7	409	175,9	347,4	0,308824
12	252,5	413	179,5	348,31	0,338235
13	254,8	414,2	182,3	359,4	0,367647
14	256,5	417	183,8	364,61	0,397059
15	256,8	425,2	184,3	365,1	0,426471
16	264,6	429,4	185	379,3	0,455882
17	289,7	435,5	186,4	381,6	0,485294
18	293,9	442,6	193,2	389,4	0,514706
19	312,5	452,9	194,4	396,6	0,544118
20	319,3	455,2	199,4	400,4	0,573529
21	326,7	457,9	203,2	404,1	0,602941
22	331,3	462,3	204,5	417,3	0,632353
23	331,8	492	204,6	454	0,661765
24	342,6	495,5	208,8	454,2	0,691176
25	347,5	508,1	210,9	473,91	0,720588
26	354,5	510,3	213	475,3	0,75
27	355,3	516	216,8	483,3	0,779412
28	362,8	542	218,2	521,9	0,808824
29	380,3	550,2	239,7	559,8	0,838235
30	382,3	561,9	248,36	565,9	0,867647
31	461,5	573,7	254	657,4	0,897059
32	461,6	618,6	271,6	611,5	0,926471

33	563,5	637,8	283,8	663,2	0,955882
34	640	641,8	287,8	664,01	0,985294

Tab n°.16 : Précipitation extrêmes de la station Babar

Rang	P _{jmax} (station Babar)	Fréquence	u_i
1	12,5	0,014706	1,439718
2	20,2	0,044118	1,13812
3	21	0,073529	0,959377
4	22,1	0,102941	0,821363
5	22,8	0,132353	0,704227
6	23,1	0,161765	0,599722
7	24,2	0,191176	0,503534
8	24,5	0,220588	0,413074
9	26,9	0,25	0,326634
10	27,9	0,279412	0,243
11	29,7	0,308824	0,161256
12	31,5	0,338235	0,08067
13	31,8	0,367647	0,000632
14	33,5	0,397059	-0,0794
15	33,5	0,426471	-0,15992
16	33,9	0,455882	-0,24141
17	34,5	0,485294	-0,32435
18	35,6	0,514706	-0,40923
19	35,6	0,544118	-0,49661
20	36,6	0,573529	-0,58708
21	37,8	0,602941	-0,68135
22	38,5	0,632353	-0,78021
23	40,5	0,661765	-0,88468
24	40,5	0,691176	-0,99598
25	40,6	0,720588	-1,1157
26	40,7	0,75	-1,2459
27	41,6	0,779412	-1,38944
28	42,2	0,808824	-1,55035
29	45,4	0,838235	-1,73468
30	48,2	0,867647	-1,95214
31	55,5	0,897059	-2,21977

32	60,2	0,926471	-2,57213
33	63,3	0,955882	-3,09842
34	76,6	0,985294	-4,21211

Tab n°.17 : pluies de courte durée (St. Babar)

$t_r \backslash f$	0,01	0,04	0,1	0,25	0,5
1	5,13	8,30	9,04	10,88	14,62
2	6,23	10,10	10,97	13,22	17,75
3	6,98	11,30	12,30	14,80	19,88
4	7,56	12,23	13,32	16,10	21,55
6	8,48	13,70	14,92	17,98	24,15
12	10,30	16,64	18,12	21,82	29,32
18	11,53	18,64	20,30	24,45	32,85
24	12,50	20,20	22,00	26,50	35,6

Tab n°.20 : Caractéristiques Empiriques des lois d'ajustement

Année	Q (hm ³)	A (hm ³)	Rang	A(hm ³)	F_i	$y=-\ln(-\ln(x))$	Ln x
1988	0,38	11,98	1	59,29	0,029	-1,26	4,082
1989	0,4	12,61	2	45,87	0,088	-0,888	3,82
1990	1,88	59,29	3	30,72	0,147	-0,65	3,42
1991	0,45	14,19	4	18,93	0,205	-0,46	2,9
1992	0,298	9,39	5	16,93	0,164	-0,286	2,82
1993	0,23	7,21	6	14,73	0,323	-0,122	2,68
1994	0,29	9,09	7	14,16	0,382	0,038	2,65
1995	0,54	16,93	8	12,6	0,441	0,2	2,53
1996	0,66	18,18	9	11,98	0,5	0,366	2,48
1997	0,58	9,11	10	9,4	0,558	0,538	2,24
1998	0,29	9,14	11	9,39	0,617	0,727	2,23
1999	0,47	14,73	12	9,14	0,676	0,937	2,21
2000	0,08	2,51	13	9,1	0,735	1,178	2,21
2001	0,28	8,77	14	9,09	0,794	1,466	2,2
2002	0,3	9,4	15	8,77	0,853	1,831	2,17
2003	0,98	30,72	16	7,21	0,912	2,372	1,97
2004	1,46	45,78	17	2,51	0,971	3,491	0,92

Remarque : $A = Q \times 31,536$

Tab n° .24 : Débits maximums de différentes fréquences

<i>Temps(x)</i>	Q(50%)	Q(90%)	Q(95%)
2	1,82	5,81	08,53
4	7,31	23,34	34,12
6	16,46	52,34	76,77
8	29,26	93,06	136,48
10	45,73	145,41	213,25
12	65,96	209,4	307,10
13,01	77,44	246,12	360,96
14	71,55	227,86	334,18
16	60,88	193,78	284,20
18	51,30	163,28	239,45
20	42,82	136,15	199,68
24	28,67	91,26	133,84
28	18,06	57,63	84,34
32	10,47	33,31	48,86
36	3,81	17,08	25,05
40	2,27	7,22	10,59
44	0,67	2,15	3,16
48	0,08	0,28	0,4
52,04	0,0	0,0	0,0

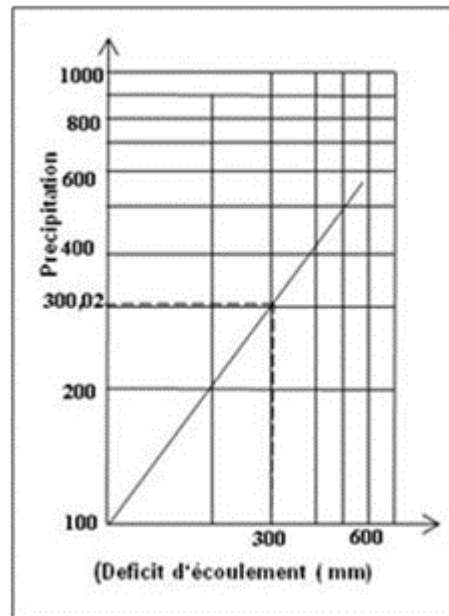


Fig n° 16 : Abaque de verdier

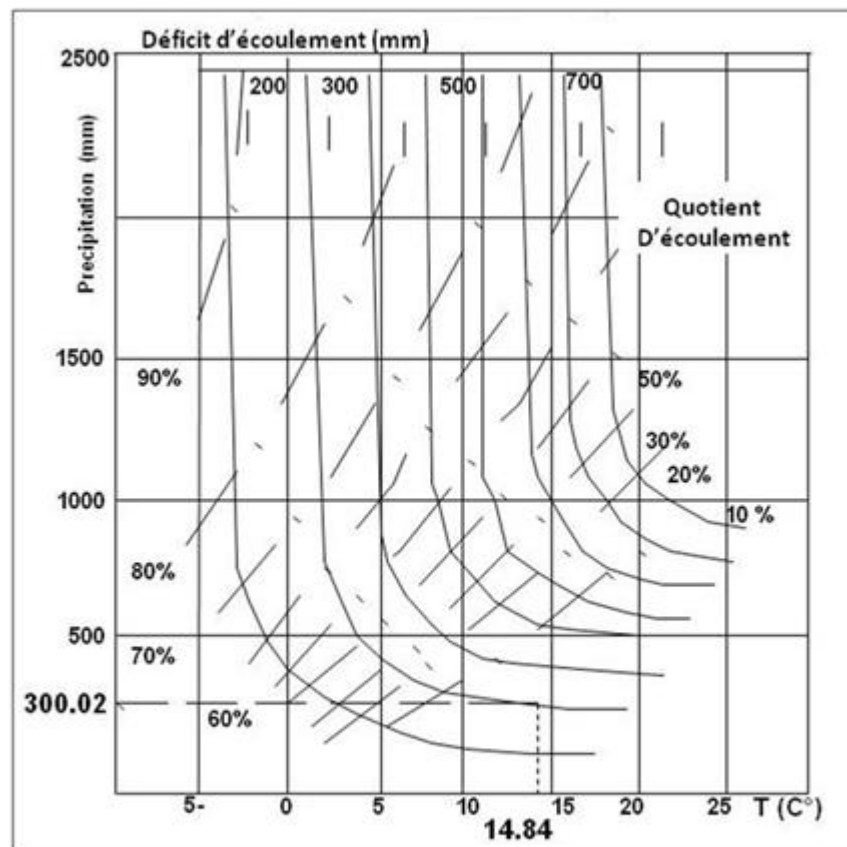


Fig n° 17 : Evaluation de l'évapotranspiration réelle en fonction des températures moyennes et des précipitations annuelles - abaque Wundt modifier par Coutagne

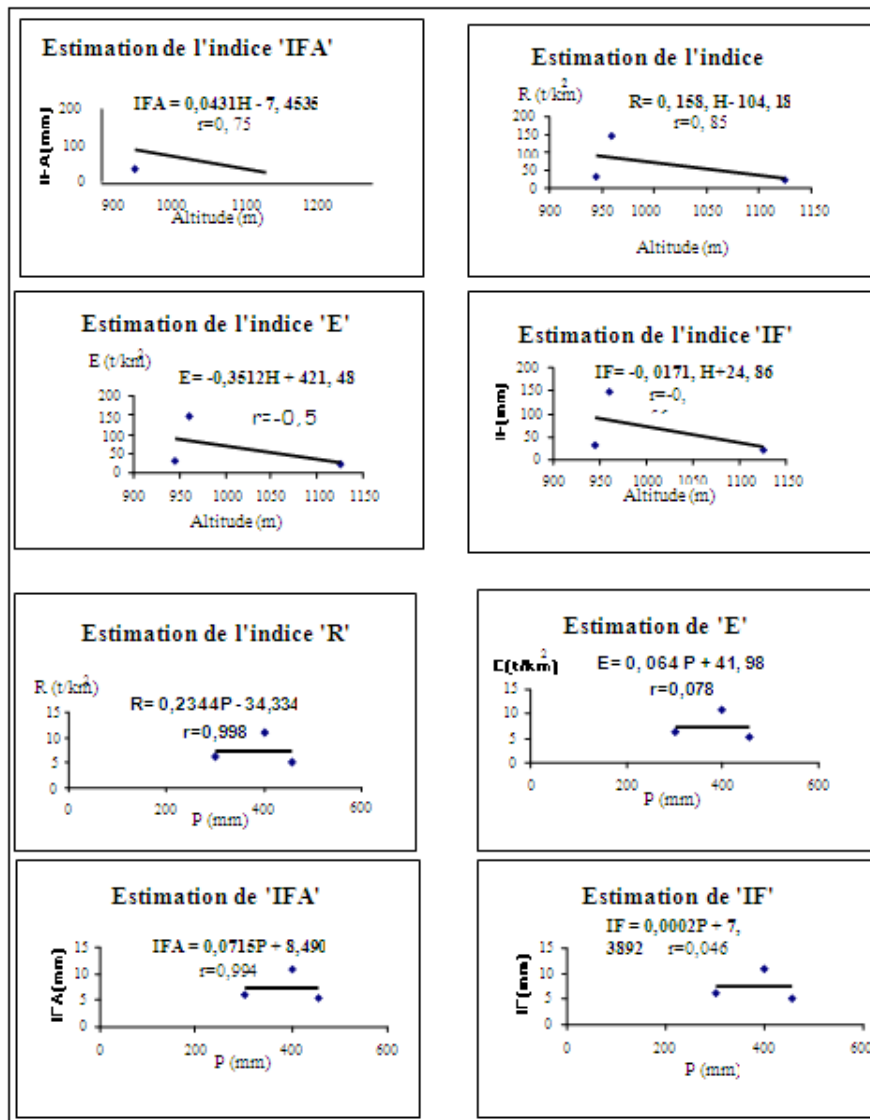


Fig n°.20 : Estimation des indices d'érosivité des pluies

Résumé

L'érosion hydrique, que nous avons entamée sur le bassin versant de l'Oued El-Arab, s'est affrontée à de nombreux paramètres générateurs d'érosion sous ses différentes formes ; les formations lithologiques vulnérables, la faiblesse du couvert végétal et l'exploitation irrationnelle de vastes aires.

L'étude a montré que le bassin est exposé à une érosion importante engendrant un apport solide par fois considérable (556T/km²/an) menaçant de la sorte la durée de vie du barrage d'Oued El -Arab.

La maîtrise du phénomène d'érodibilité des terres impose un plan d'intervention judicieux. Il doit porter essentiellement sur le reboisement du bassin versant, la correction des ravins et des techniques de lutte antiérosives appropriées : techniques agricoles, labours, ...etc.

Mots clés

Bassin versant, Oued El-Arab, Erodibilité, Apports solides, Impacts, Envasement, Barrage.

Abstract

The study of water erosion, which we started on the Oued El-Arab watershed, has confronted many erosion-generating parameters in its different forms; vulnerable lithologic formations, low vegetation cover and irrational exploitation of large areas.

The study has shown that the pre-question basin is exposed to significant erosion generating a solid contribution at times considerable (556T / km² / year) thus threatening the life of the dam Oued El-Arab.

Controlling the phenomenon of land erodibility requires a judicious intervention plan. It must focus on the reforestation of the watershed, the correction of ravines and appropriate anti-erosion techniques: agricultural techniques, plowing, ... etc.

Keywords

Watershed, Oued El-Arab, Erodibility, Solid Contributions, Impacts, Siltation, Dam.

ملخص:

إن هذه الدراسة، التي قمنا بها لحوض وادي العرب قد ألفت بعدة عوامل مسببة للانجراف: التكوينات الصخرية اللينة، الغطاء النباتي غير الكثيف والاستغلال غير العقلاني للأراضي، ... مما يعرضه إلى تعرية كبيرة تؤدي إلى توليد حمولة صلبة معتبرة تحد من مدة صلاحية سد واد العرب. والحل لهذه الظاهرة (ظاهرة التعرية) يتطلب إعداد خطة تدخل شاملة للحوض، تعتمد أساسا على التشجير وتصحيح المجاري المائية، وإتباع طرق مضادة للتعرية خاصة بتقنيات فلاحية، الحرث،... الخ.

كلمات مفتاحية:

حوض التصريف، واد العرب ، التعرية، الحمولة الصلبة، تأثير، التو حل، السد.