

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**Université El Hadj Lakhdar - Batna**  
**Faculté des Sciences**  
**Département des Sciences de la Terre**

Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister  
En aménagement du territoire  
**Option: Dynamique des milieux physiques et risques naturels**

Thème

**Analyses morphodynamique et hydropluviométrique  
De la Vallée de Oued El Arab  
et leurs Impacts Sur la pérennité Du Barrage de**

Réalisé par :

Aouachria Miloud

Dirigé par :

Dr. Yahiaoui Abd elouaheb

Devant le jury :

Kalla Mehdi	Maitre de Conférence	Univ. Batna	Président
Dridi Hadda	Maitre de Conférence	Univ. Batna	Examineur
Amireche Hamza	Maitre de Conférence	Univ. Constantine	Examineur
Yahiaoui Abd elouaheb	Chargé de Cours	Univ. Batna	Rapporteur

Année universitaire: 2007/2008

## Remerciements :

*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 tiens, à remercier vivement mon encadreur Dr. Yahiaoui. Abed-Elouaheb, à monsieur le chef département des sciences de la terre Dr. M. kalla, et Dr. Mme kalla. Ainsi à monsieur Dr. A. hamza de l'institut des sciences de la terre université de Constantine, Sans oublier Mme. Houachria. L et Dr. Z. Houachria pour leurs aides, leurs encouragements, leurs observations avisées, ces précieux conseils, tout au long de ce travail.*

*J'adresse aussi mes sincères remerciements à toutes personnes ayant apporté un plus à la réalisation de ce mémoire.*

*A. miloud*

*A l'esprit de mon père, à ma mère tous  
se qui j'ai dans le monde. Et à tous ceux qui  
M'aime.*

*A Miloud.*

# Sommaire :

Introduction :	01
Situation Géographique Du Bassin Versant	02

## CHAPITRE N°1: LES DONNEES DU MILIEUX PHYSIQUES.

1-1 Le Relief	04
1-2 Les pentes	06
1-3 Géologie du bassin	10
1.3.1 Les formations du crétacé	10
1.3.2 Le quaternaire	13
1-4 Lithologie du bassin	13
1.4.1 Les roches dures	15
1.4.2 Les roches moyennement dures	15
1.4.3 Les roches tendres	15
1.5 La perméabilité	16
1.5.1 Formations de perméabilité élevée	16
1.5.2 Formations de perméabilité moyenne	18
1.5.3 Formations de perméabilité faible	18
1-6 L'Occupation du sol	18
1.6.1 Les forêts.	18
1.6.2 Les maquis.	20
1.6.3 Les parcours steppiques.	20
1.6.4 Les céréales.	20
1.7 Les Paramètres du Reliefs .	20
1.7.1 Les Paramètres Géographiques	25
a- L'indice de forme	25
b- Le rectangle équivalent	26
1.7.2 Les Paramètres Hydrographiques	28
a- Le profil en long	28
b- La densité de drainage	31
c- Coefficient de torrencialité	32
d- Temps de concentration	32
e- Vitesse de concentration	33
1.8 Données climatiques.	33
1.8.1 Caractéristiques climatiques de la région	33
a- Température de l'air.	34
b- Les vents.	35
c- L'évaporation	36
d- Etude des précipitations	36
Conclusion	37

## CHAPITRE N°2 : ANALYSE STATISTIQUE DE LA PLUVIOMETRIE.

2.1	Critère et Homogénéisation des données pluviométriques	38
2.1.1	Détection et correction des erreurs	38
2.1.2	Comblement des lacunes	42
2.2	Les Précipitations annuelles	43
2.2.1	Calcul la lame d'eau moyenne annuelle	46
	a. La moyenne arithmétique	46
	b. La méthode de theissen	46
2.3	Etude Statistiques des pluies annuelles	47
2.3.1	Test d'adéquation Test du $\chi^2$	52
2.4	Coefficient de variation et irrégularité des pluies	57
2.4.1	Variation saisonnières des précipitations	58
2.5	Les Précipitations journalières	58
2.5.1	Estimation des pluies de courte durée	61
2.6	Les termes du bilan hydrique	62
2.6.1	L'évapotranspiration	62
2.6.1.1	Calcul de l'évapotranspiration potentielle 'ETP'	64
	a. Formule de Thornthwait	64
2.6.1.2	L'évapotranspiration réelle 'ETR'	65
	a. Formule de TURC	65
	b. Formule de WUNDT	66
	c. Formule de VERDEIL	66
	d. Formule de Mr COUTAGNE	68
2.6.2	Le Bilan Hydrique	68
2.6.3	Equation du bilan	70
2.6.4	Ruissellement de surface	70
2.6.5	Estimation de l'infiltration	71
2.7	Ecoulement moyenne annuelle du B.V de Oued El Arab	72
2.7.1	Distributions statistiques des débits annuelles	72
2.7.1.1	Ajustement a la loi de GUMBEL	73
2.7.1.2	Ajustement a la loi de GALTON	73
2.7.2	Etude des Crues	74
2.7.2.1	Calcul des crues par des formules empiriques	75
	a. Formule de Mallet et Gauthen	75
	b. Formule de Turazza	75
	c. Formule de Possent	76
	d. Formule de Giandotti	77
	e. Formule de Sokolovsky	77
2.7.3	Hydro grammes des Crues	
2.7.3.1	Description d'un cours d'eau	78

## CHAPITRE N° 3: ESTIMATION DES APPORTS ET PROPOSITION D'AMENAGEMENT

3.1	L'estimation des Apport	81
3.11	Méthodes Empirique	81
3.1.1.1	Les Apports liquides	81
	a. Formule de SAMIE	81
	b. Formule de MALLET	82
	c. Formule de J DERY	82
	d. Formule de GOUTAGNE	82
3.1.1.2	Les Apports Solides	84
	a. Formule de FOURNIER	84
	b. Formule de TIXERONT	84
	c. Formule de SOGREAH	85
	d. Formule de l'ANRAH	85
3.2	Cartographie de sensibilité à l'érosion	86
3.2.1	Calcul de l'érosivité	86
	a. Indice d'érosivité de fournier IF	86
	b. Indice d'érosivité Arnoldus IFA	87
	c. Calcul de l'érodibilité de fournier E	87
	d. Indice d'érosivité de Wischmeir R	88
3.2.2	Etude des corrélations	91
3.3	Evaluation du taux d'envasement ' Wood -Burn '	93
3.4	Les propositions d'aménagement	98
3.4.1	Coté naturelle	98
3.4.2	Coté Agricole	99
	Conclusion	101
	CONCLUSION GENERALE	102

## LISTE DES FIGURES

Fig n°(01) : Coupes topographiques du bassin	05
Fig n°(02) : Courbe hypsométrique	06
Fig n°(03) : Le Rectangle équivalent	25
Fig n°(04) : Le Profil en long	27
Fig n°(05) : Courbe Ombrothèrmique de la Station Babar (1971/2004)	32
Fig n°(06) : Courbes des doubles cumuls	35
Fig n°(07) : Comblement des lacunes par la méthode de régression linière	39
Fig n°(08) : Polygone de Thiessen	42
Fig n°(09) : Ajustement à la loi de Guembel aux précipitations annuelles	46
Fig n°(10) : Variation saisonnières des précipitations en %	51
Fig n°(11) : Ajustement à la loi de Guembel aux précipitations Journalières Maximales	53
Fig n°(12) : Courbes (intensité, durée, fréquences)	55
Fig n°(13) : Abaque de Wundt modifié Par coutagne	59
Fig n°(14) : Abaque de Verdiel	59
Fig n°(15) : Ajustement à loi de Guemebel et de Galton aux débits Maximal annuelles	64
Fig n° (16) : L'Hydrogramme de la crue	70
Fig n° (17, ..... 24) : Corrélation des indices d'érosivité	80,81

## LISTE DES CARTES

Carte n°01 : Situation Géographique du site	03
Carte n°02 : Les Altitudes	06
Carte n°03 : Les Pentes	08
Carte n°04 : Géologie	11
Carte n°05 : Lithologie	14
Carte n°06 : Les degrés de permutableté	16
Carte n°07 : L'occupation du Sol	17
Carte n°08 : Réseau hydrographique	26
Carte n° (09, ..... 12): Les Cartes d'érosivités des indices (IF, R, E, IFA)	83,84
Carte n°13: Carte d'érosion (carte synthèse)	85
Carte n°14 : Les propositions d'aménagement	88

Tab n°01 : Classes des Pentes	
Tab n°02 : Formation Lithologique	
Tab n°03 : Répartition des classes d'infiltration	
Tab n°04 : L'occupation du sols	
Tab n°05 : Classes d'altitudes	
Tab n°06 : Classification du cours d'eau	
Tab n°07 : Récapitulation des caractéristiques morphométriques	
Tab n°08 : Les moyennes mensuelles des températures	
Tab n°09 : Les moyennes mensuelles d'évaporation	
Tab n°10 : Précipitation mensuelle (1971/2004)	
Tab n°11 : Précipitation Annuelles cumuls	
Tab n°12 : Pluies Annuelles	
Tab n°13: Différentes paramètres des quatre stations	
Tab n°14: Variation saisonnières des pluies annuelles	
Tab n°15: Précipitation extrêmes de la station Babar	
Tab n°16: Pluie de courte durée (Station Babar)	
Tab n°17: ETP mensuelles St .babar	
Tab n°18: Bilan hydrique selon Thornthwai(st-Babar)	
Tab n°19: Récapitulatif de l'évapotranspiration	
Tab n°20 : Calcul de l'infiltration à partir de différentes formules	
Tab n°21 : Caractéristiques empiriques pour les deux lois (Guembel, Galton)	
Tab n°22: Récapitulatif des débits maximaux de crue a déférentes fréquences pour les différentes formules	
Tab n°23: Débits maximums de différentes fréquences	
Tab n°24: Récapitulatif des résultats empiriques de Le (m) et A (hm <sup>3</sup> )	
Tab n°25: Degré d'infiltration selon Sogreah	
Tab n° 26: Les résultats calculés empiriques de la Ds	
Tab n°27: Les résultats de calcul des indices IF, IFA, E	
Tab n°28: Calcul de l'indice de Wischmeier R	
Tab n°29: Résultats de calcul les indices d'érosivités IF, IFA, R, E	
Tab n°30 : Coefficient de corrélation des indices d'érosivités	

## LISTE DES TABLEAUX

*Chapitre n° 01 :*

***LES DONNEES DU MILIEUX  
PHYSIQUES***

## **Introduction:**

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 terme d'ouvrage d'emménagement sont réduits Considérablement à cause des apports solides aux droits de ces ouvrages.

L'envasement est l'une des caractéristiques les plus affirmées des régions semi arides en raison de la péjoration climatique, le caractère torrentiel des écoulements et le couvert végétal réduit le plus souvent à sa plus simple expression.

L'estimation des apports et du phénomène d'érosion passe forcément par l'étude précise de la dynamique des milieux, tant sur le plan géomorphologique, que sur le plan hydro climatique, sans oublier l'aspect anthropique.

Dans cette recherche, nous essayerons d'effectuer une analyse aussi précise que possible avec une approche quantitative et numérique qui débouchera sur des propositions concrètes en terme d'aménagement et de traitement de l'impluvium.

Notre étude comprendra 3 chapitres à savoir :

- 1- Une analyse générale qui se portera sur les données du milieu physique du site.
- 2- La deuxième comprendra une analyse statistique qui permettra des corrections convenables et une homogénéisation des données des séries pluviométriques ainsi qu'une évaluation des variables et leur aspect fréquentiels.
- 3- L'évaluation du transport solide au droit du barrage et proposition d'aménagement nécessaires pour le traitement et le soin du bassin versant pour réduire et freiner l'érosion vers le barrage.

### **La situation géographique du bassin versant :**

Le bassin versant de l'Oued El-Arab 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 carte n° (01).

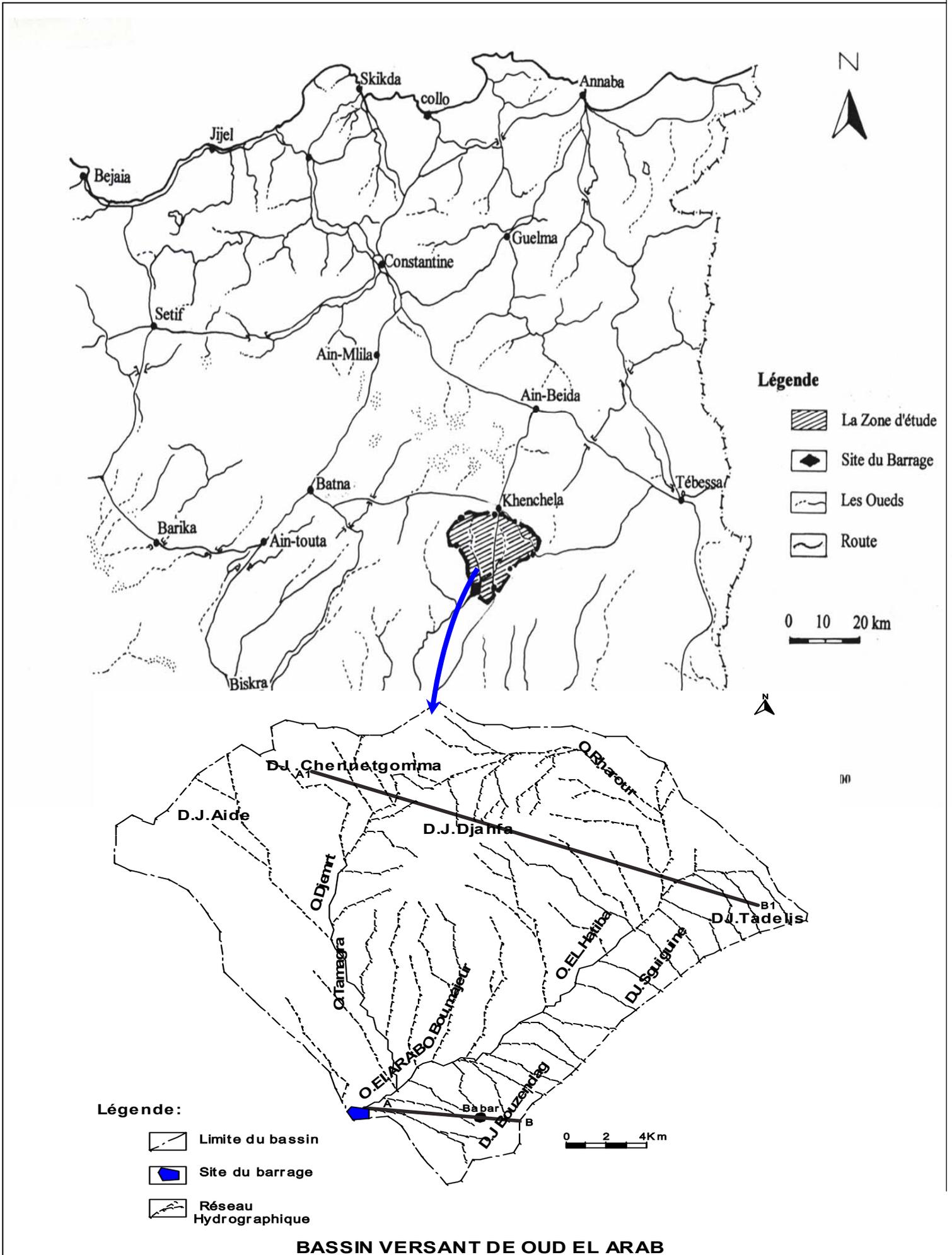
Le bassin d'étude est un sous bassin de la partie amont de l'Oued El-Arab qui porte le nom de l'Oued – Arab, et il est délimité par:

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 aussi entre les méridiens de longitudes  $6^{\circ}55'$  et  $7^{\circ}13'$  Est et les parallèles de latitude  $35^{\circ}10'$  et  $35^{\circ}22'$  Nord.

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

Fig n°01 : LA SITUATION GEOGRAPHIQUE DU SITE



---

## **1.1 Le relief :**

Le relief a un rôle important dans le fonctionnement hydrologique d'un bassin versant. Dès profils topographiques du barrage de Babar fig n° (01), et de la carte hypsométrique du bassin carte n° (02), on peut faire ressortir les unités topographiques suivantes:

### **- 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 2115m, 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 le Sud. La elles se relier aux montagnes des Nemamcha représentés par le djebel Tadelest et le djebel Sguiguine, le djebel Bouzendag culminant à 1502m. Elles ne constituent que 13.92% de la surface du bassin versant avec des pentes souvent supérieurs à 12%.

### **- Les Piedmonts :**

Ils constituent la zone de transition entre les montagnes et les zones basses se trouvant au sud-est entre les altitudes 1200-1400m (voir la carte n°(02)) Ils sont caractérisés par des pentes moyennes (6-12%), et ne représentent que 19, 75% de la surface totale du bassin. Leurs terres sont occupées au Nord –Ouest par des forêts dégradés (maquis).

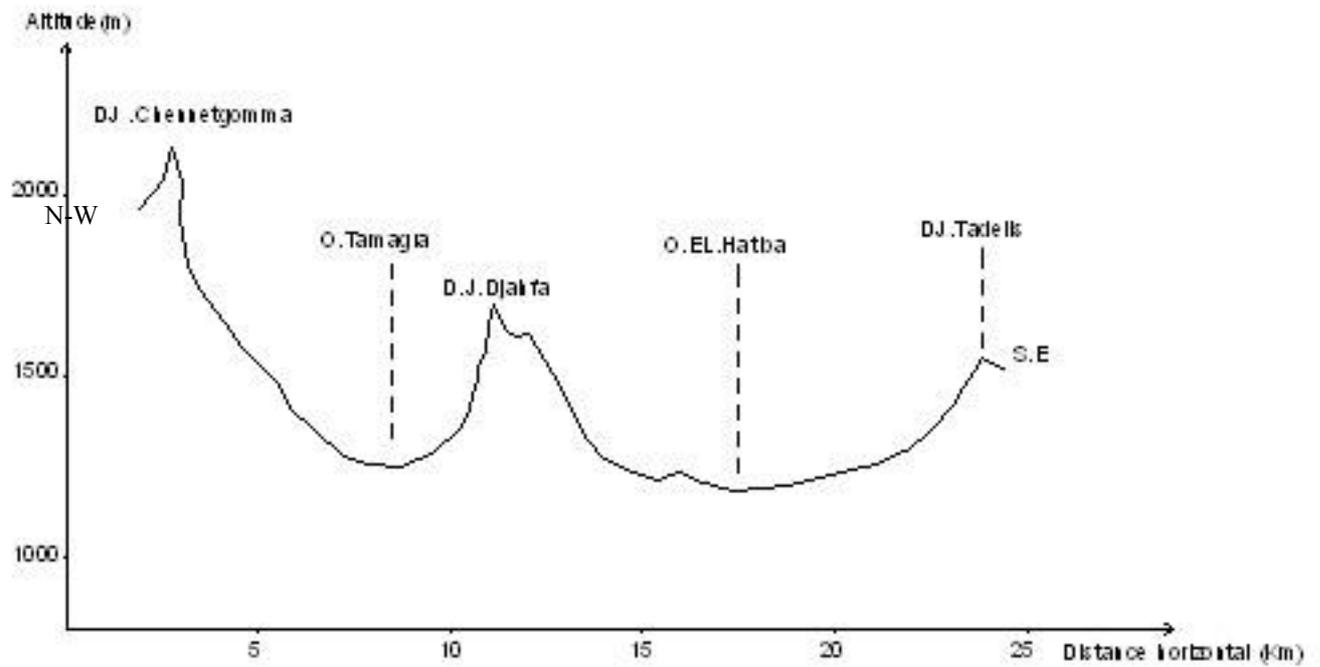
### **- Les hautes plaines ou Hauts plateaux:**

Elles s'intercalent entre les deux chaînes montagneuses du bassin versant sur des altitudes de moins de 1200m sur une surface de 375km<sup>2</sup> soit plus de (3/5) de la surface totale du bassin versant. Elles sont drainées par un réseau hydrographique très important tel que l'Oued Hatiba et Oued. Tamagra. Ces terres, de pentes faibles « 0-6% » et sans couvert végétal, sont occupées par la céréaliculture (orge, blé).

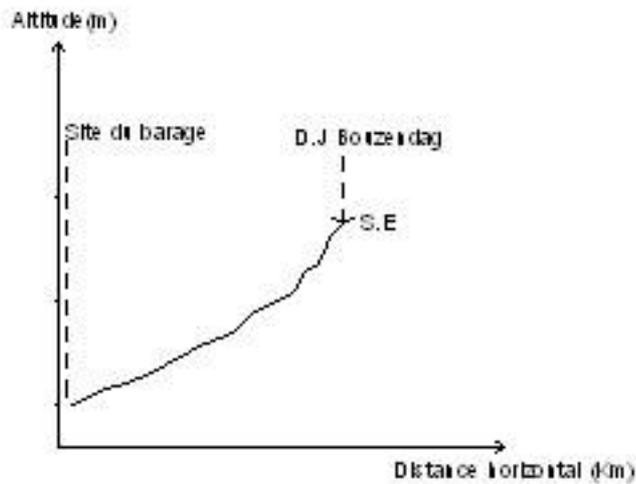
- La plus part des terres du bassin versant sont des terres sans couvert végétal ce qui favorise ou accélère l'action érosive.

FIG N° 01 :

### PROFIL TOPOGRAPHIQUE DU BASSIN VERSANT DE OUED EL ARAB



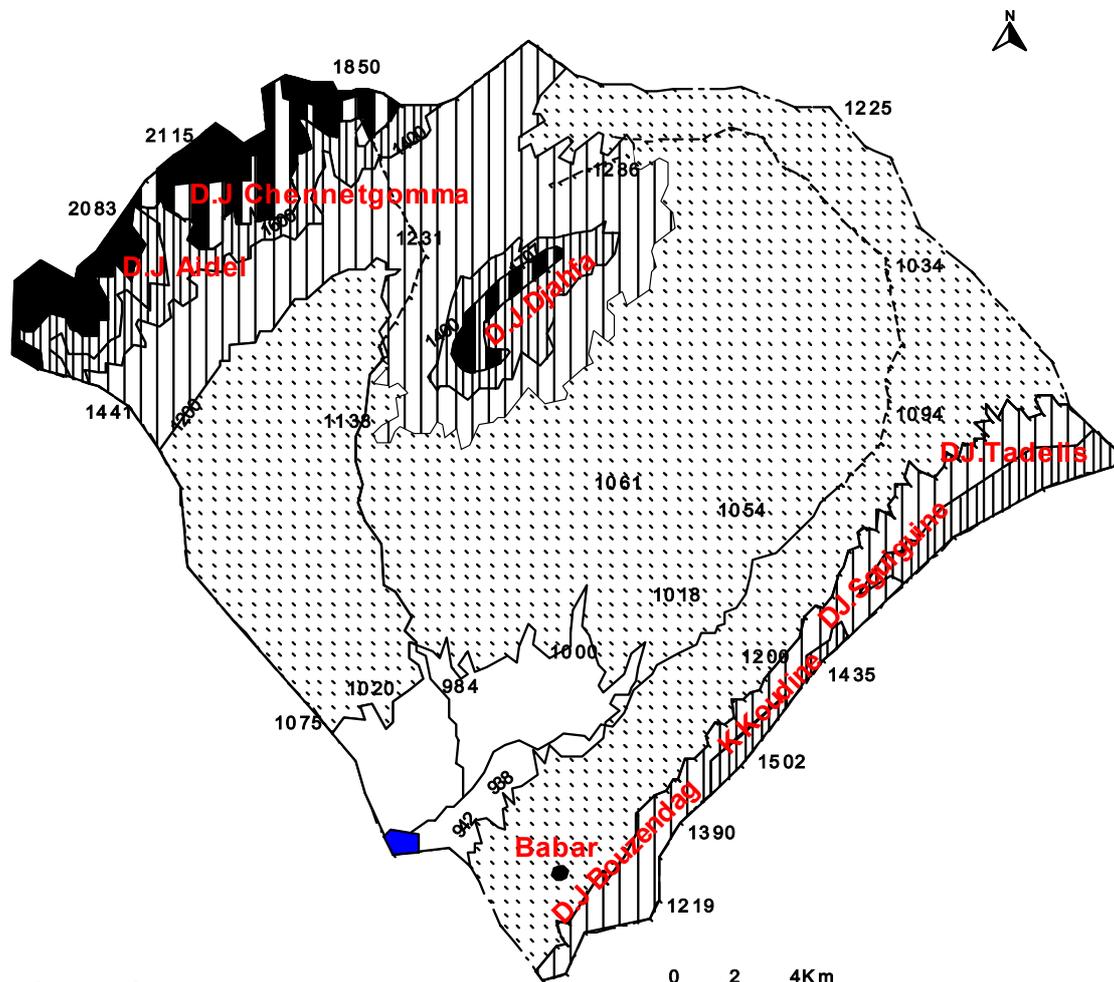
Section au centre du bassin



Section al extrinité sud du bassin

CARTE N° 02:

**BASSIN VERSANT D'OUED EL-ARAB :  
L'HYSOMETRIE**



Légende:

- |  |  |  |
|--|--|--|
|  > 1800m    |  1200-1400m |  Point Altimétrique |
|  1600-1800m |  1000-1200m |  Limite du bassin   |
|  1400-1600m |  < 1000m    |  Site du barrage    |

Source: Carte Topographique de Khenchela 1/200000

## 1.2 Les Pentes :

Le but principal de l'étude des pentes réside dans l'importance de leur influence sur l'orientation des activités humaines et l'entravent ou l'accélération du phénomène érosif, d'où, Hudson et al, a trouvé que la perte de sol (E) augmente plus avec l'inclinaison de la pente(S) selon la relation suivante :  $E = S^a$  ( $1,3 < a < 1,5$ ).

**Tab n° (01) : classes des pentes**

CLASSE DE PENTE (%)	SURFACE (km <sup>2</sup> )	SURFACE (%)
<3	379	66.84
3 - 12	68	11.99
12,5 - 25	74	13.05
25>	46	8,01
Total	567	99,98

De la carte des pentes n° (03) et du Tab n° (01), on peut distinguer quatre (04) classes :

- **Classe 1: <3% :**

C'est la classe la plus étendue et représente plus des 66% de la surface totale du bassin versant. Elle occupe le centre de la zone d'étude, des limites N.E vers les limites S.W du bassin. Ses terres forment la zone des plateaux qui sont occupées par des cultures extensives (orge, blé) drainées par un réseau hydrographique important ce qui les rendent exposées aux phénomènes d'érosion pendant la période des pluies.

- **Classe 2: 3-12% :**

Elle représente les terres de pédiments des montagnes et des collines du bassin (N-W Dj.Jahfa, Dj.Tadelist, K<sup>ed</sup>Koudine,...), qui prend la forme d'une bande parallèle suivant l'orientation générale des montagnes (S.W-N.E), et occupe moins de 12 % de la surface totale du bassin versant, son couvert végétal est de type steppique (armoïse, alfa).

- **Classe 3: 12,5-25% :**

Elle occupe une superficie estimée de 13.05% de la surface totale du bassin et correspond aux montagnes du S.E de Dj.Tadilest, et Dj. Djahfa, au centre du bassin, au y trouve une végétation steppique.

- **Classe 4: >25% :**

Elle se situe sur les sommets des montagnes N.W (Dj.cenntgomma, Dj.aidel) et au centre (Dj.Djahfa) de la zone d'étude et ne représente que 8,01%de la surface totale du bassin.

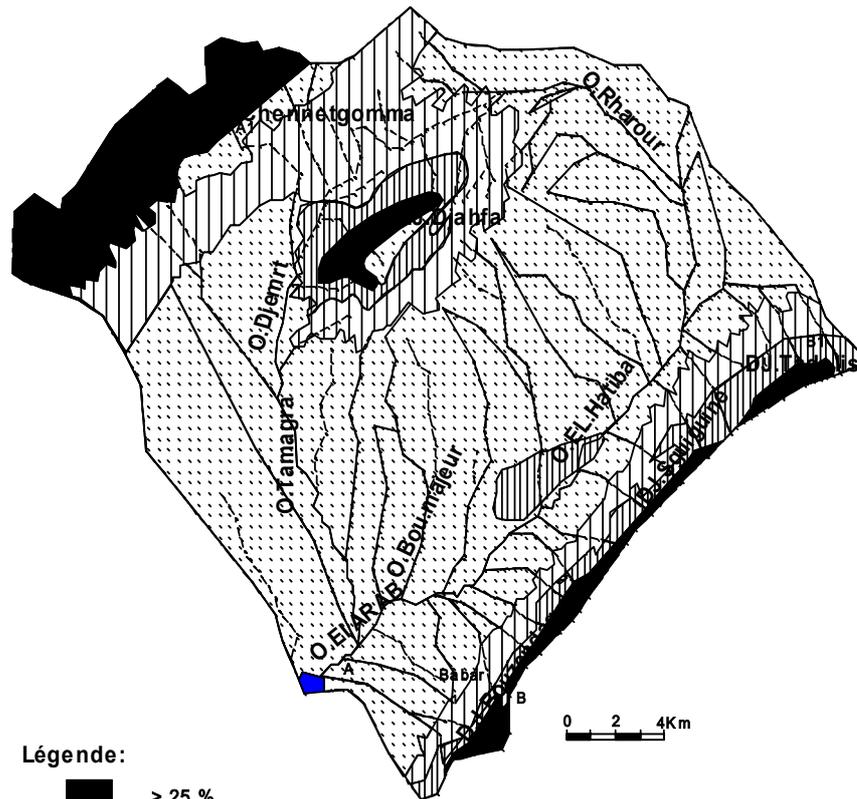
Elle se présente sous forme de petites taches sur des altitudes très élevées qui dépassent 1600m avec une végétation forestière au Nord Ouest (cèdre) tandis qu'au centre elle est de type steppique (alfa, armoise) qui se dégrade d'une année à l'autre.

**Conclusion :**

La plus part des terres du bassin ont une pente moyenne et un couvert végétal très faible ou même inexistant, se qui aide et favorise l'effet de l'érosion hydrique des sols des terrains.

CARTE N° 3: BASSIN VERSANT DE OUED EL-ARAB:

LES PENTES



Légende:

-  > 25 %
-  12,5 - 25%
-  3-12,5%
-  < 3%
-  Limite du Bassin
-  Site du barrage

Source: Carte Topographique de Khenchela 1/200000

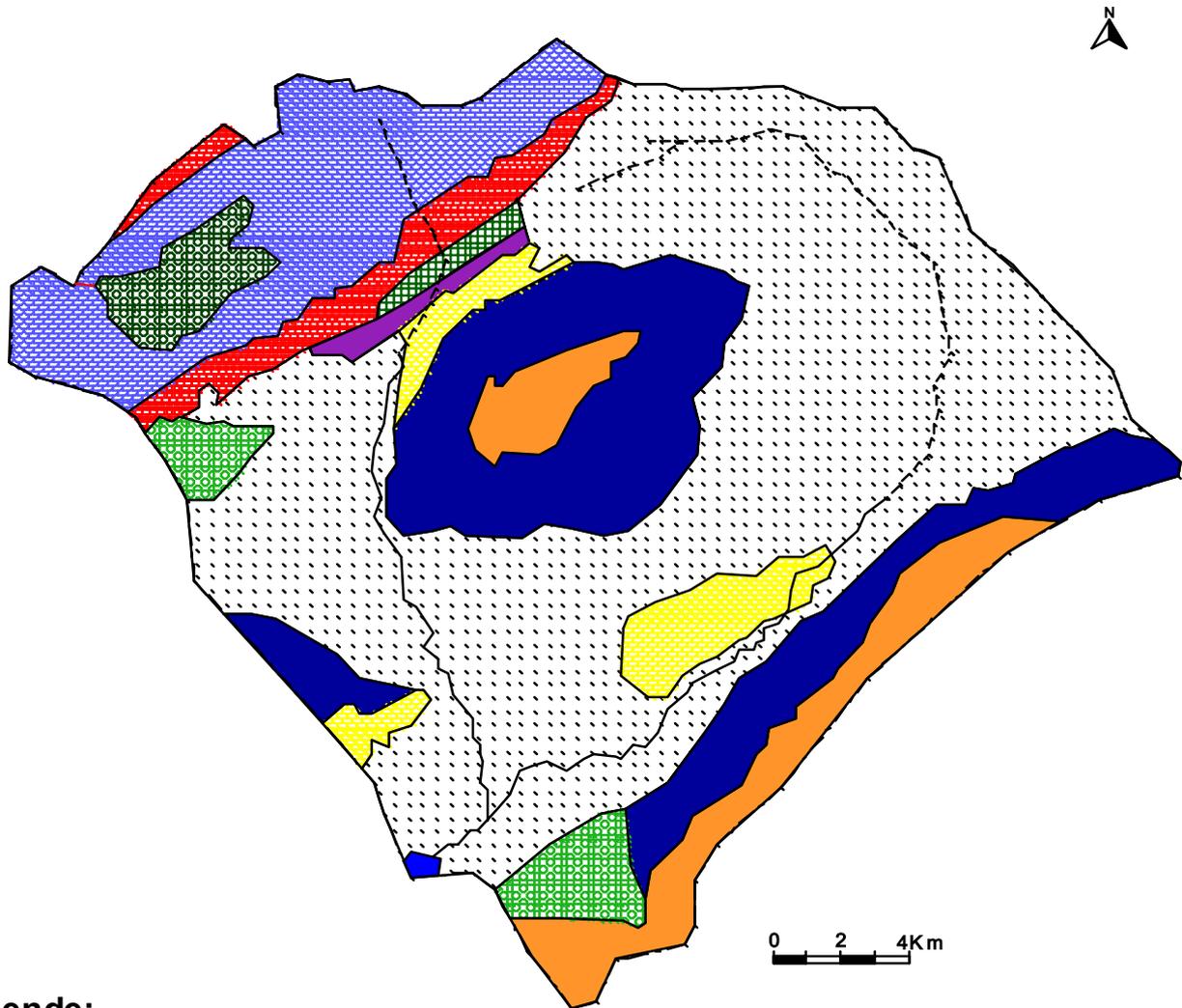
### 1.3.Géologie du bassin :

Les formations géologiques de la région d'étude sont composées par une série stratigraphique simple (d'âge crétacé et quaternaire), carte n° (04).

#### 1.3.1 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, les étages apparences sont:

- **Le Barremien** : il se présente au Nord –Ouest du bassin (Dj.Aidel) sous forme d'une petite tache. Sa lithologie est constituée essentiellement de matériaux détritiques :(calcaires, grés, calcaires gerseaux, 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, rouge 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, ou l'épaisseur de ces formations varie de 400 à 500m.
- **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 100à 300m. dans les calcaires à rudistes, elle 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.



**Légende:**

	} Quaternaire {	Alluvion anciennes et récentes		Cénomaniens : Dolomie- calcaire (localement gypses) Marne et marno-calcaire
		Cônes de déjections .		Albien : Gré et marne rouge, vert-marne, calcaire, gré ;flysch localement phosphate
		Mastrichtien : Calcaire, marne noir		Aptien :gré et marne rouge, vert,..... ;calcaire, dolomie,marne ,gré.
		Campanien : Marne noire, marne crayon		Barremien : gré et marne rouge, vert, .... ;gré blanc ;calcaire gréseux
		Turonien : Calcaire et marne (récifs+rédustes,isolés		limite du bassin versant
		Coniacien et Santonine : Marne et calcaire		Site du barrage

Source R. laffitte 1939

- **Le Coniacien et le Santonien** : il se distribue dans le bassin, en petites taches surtout au sud et au nord-ouest du Dj.Djhfa. Il est constitué de formations marneuses et calcaires.
- **Le Campanien** : il se manifeste dans les différentes parties du bassin surtout dans les limites sud. Là il prend d'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.

### 1.3.2 Le Quaternaire :

Les dépôts quaternaires sont assez limités ce qui est dû aux processus érosifs assez intenses et qui provoquent l'ablation des formations superficielles sur les pentes raides. Leur déplacement et leur accumulation se font sur les terrasses basses des oueds ou sur les versants à pente douce. En générale, ils sont représentés uniquement par des alluvions formées de limon argileux, graviers et galet, et des éluviaux. Occupe une partie importante de la surface du bassin, la quelle s'étend de la limite S-W jusqu'aux confins N-E du bassin carte n° (04).

### 1.4 La lithologie :

Du point de vue lithologique est compte tenu de l'absence d'une étude géologique détaillée sur le périmètre d'étude, et selon l'utilisation de la carte de la fite et le terrain, on peut réaliser un croquis géologique représenté par la carte n°(04) de la zone d'étude. A la base de ces résultats, on est arrivé à extraire le croquis lithologique, illustré dans la carte n° (05).

Elle nous a permis de délimiter la zone perméable de celle qui est imperméable et cela suivant la nature des roches et degré de fissuration.

#### 1.4.1 Les Roches dures :

- ✓ **Les Grés:** Ils se présentent sous forme de petites taches au Nord-Ouest du bassin et au Sud et s'étendent sur 2,64% de la surface totale.
- ✓ **Les Calcaires :** Il se manifeste surtout au Sud -Est, et au Nord-Ouest sous forme de bandes qui s'étendent, d'une part, de l'extrémité Sud vers l'extrémité Est (Dj. Tadelist), et d'autre part, au Nord-Ouest au Dj. Djahfa. Ils occupent 09.87 % de la surface totale du bassin.

**Tab n° (02) : Les formations lithologiques du bassin**

Formations	Surface (km <sup>2</sup> )	Surface (%)
Marnes	75	13,22
Calcaires	56	09,87
Grés	15	02.64
Marno- Calcaires	40	07,05
Alluvions	381	67,20

#### **1.4.2 Les roches moyennement dures :**

On trouve un seul type qui est le marno- calcaire. Elles se localisent au sommet de Dj. Jahfa et au front Nord-Ouest du Bassin (Dj. Chenntgoumma,..), et n'occupent 7,01 % de la surface totale.

#### **1.4.3 Les roches tendres :**

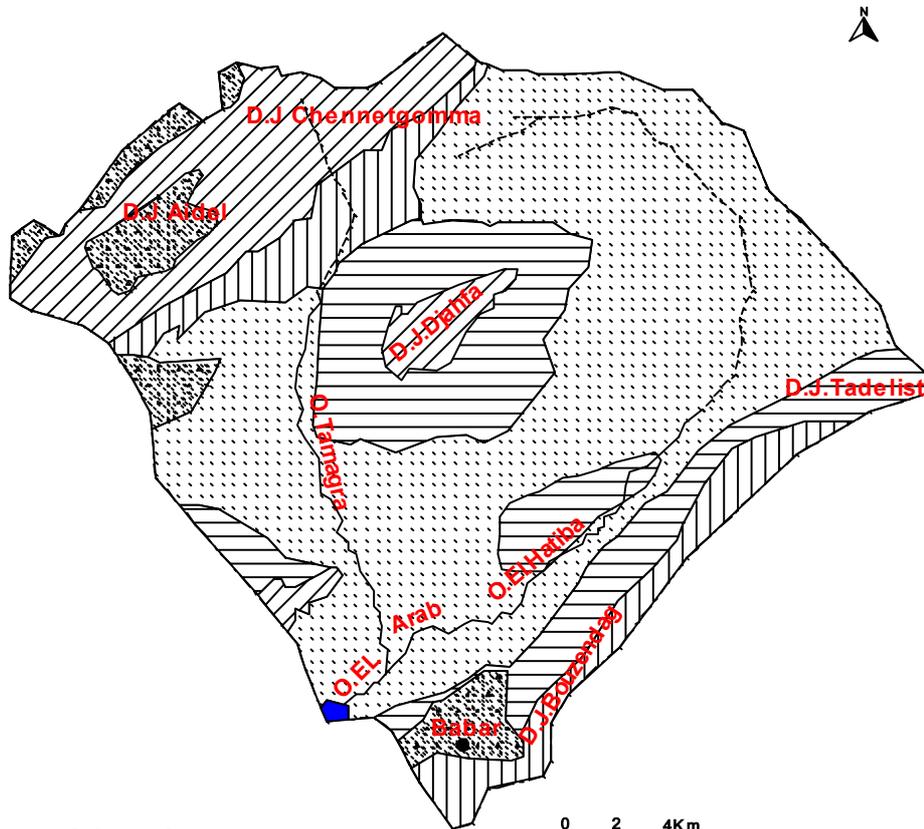
- ✓ **Les Marnes :** Elles occupent la l'essentiel du massif du Dj. Jahfa et l'extrémité SUD- EST du bassin versant avec une superficie estimée à 13.22% du bassin.

- ✓ **Les formations quaternaires :**

Elles couvrent plus de la moitié de la surface du bassin (67,20%). Elles s'intercalent et s'étendent entre les deux chaînes montagneuses qui forment les limites du bassin au Nord -Ouest et au Sud-Est. Ce sont des limons argileux, graviers, marnes, sable.

On peut constater que la zone d'étude à une perméabilité moyenne a enlevée. Mais l'action érosive reste importante sur la majorité de la surface du bassin (roches tendres et moins dure) surtout sur les parties à fortes pentes et dépourvues en végétation.

**CARTE N 05 : BASSIN VERSANT D'OUDE EL-ARAB:  
LA LITHOLOGIE**



**Légende:**

- |  |  |
|--|--|
|  Alluvions      |  Calcaire         |
|  Grés           |  Oued             |
|  Marnes         |  Limite de Bassin |
|  Marno Calcaire |  Site du barrage  |

Source: Carte géologique du bassin

## 1.5 La perméabilité:

Le degré de la perméabilité influe sur l'action érosive, selon les formations lithologiques.

L'examen de la carte lithologique n° (05), nous a permis de classer les roches d'après leurs perméabilités en trois classes selon leurs duretés comme le représente la carte n° (06) des degrés de perméabilité et le Tab n° (03).

**Tab n° (03) : Répartitions des classes de la perméabilité**

Classes	Lithologie	Bassin	
		Surface (Km <sup>2</sup> )	%
perméabilité moyenne	Grés, Calcaires	71,0	12,52
perméabilité faible a moyenne	Marno-Calcaires	40,0	07,10
perméabilité moyenne a élevée	Alluvions, Marnes	456	80,70

### 1.5.1- Formations de perméabilité moyenne a élevée :

Formée essentiellement par des dépôts récents, qui occupent la majorité de la surface du bassin versant au centre estimé de plus de 80% de la surface totale du bassin.

### 1.5.2 - Formations de Perméabilité faible a moyenne :

Constituées de formation Marno- Calcaire et des marnes qui se manifeste an Nord Ouest du bassin et au sommet du Dj. Djahfa, avec une surface estimé à 07,10 % de la surface totale du bassin.

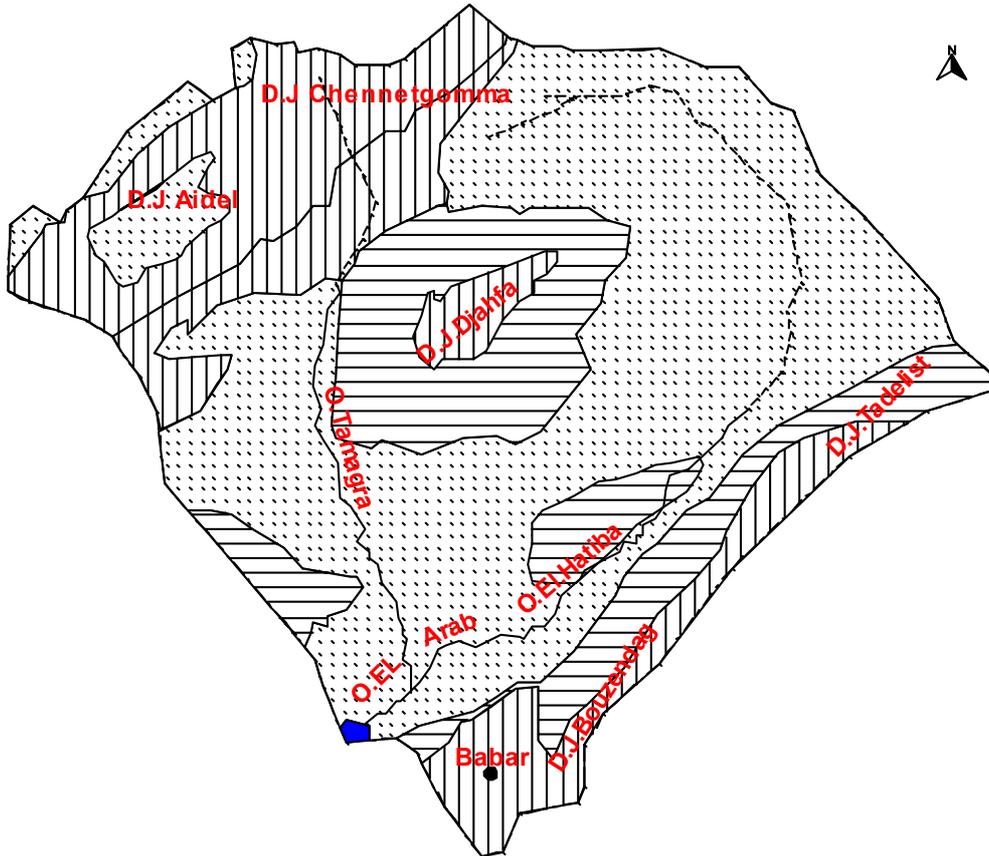
### 1.5.3 Formations de Perméabilité moyenne :

Leurs formations lithologiques sont constituées des Grés et des Calcaires fissurés. Elles se situent au Sud -Est et au Nord-Ouest du bassin versant sous forme de bandes parallèles aux chaînes montagneuses formant les limites de la cuvette du bassin, avec une superficie estimée à 12,52 % de la surface totale du bassin.

- ✓ Dans ce cas, on peut constater que la zone d'étude à une perméabilité moyenne a élevée.

# CARTE N°06 BASSIN VERSANT D'OUED EL ARAB:

## LA PERMEABILITE



### Légende:

-  Perméabilité Faible
-  Perméabilité Faible à Moyenne
-  Perméabilité Moyenne à élevée
-  Limité du bassin
-  Site du barrage

0 2 4Km

Source : carte de lithologie du bassin

## 1. 6 L'occupation du sol :

Selon la carte n° (07) d'occupation du sol, on distingue les répartitions suivantes, Tab n° (4).

**Tab n° (4) : Occupation du Sol**

Type d'occupation	Surface (Km <sup>2</sup> )	Surface (%)
forêts	24	04.23
maquis	22	03.83
parcours steppiques	40	07.05
Céréales	481	84.83

### 1.6.1- Les forêts:

Ils se localisent à l'extrémité Nord-Ouest du (Dj.Aidel, Dj.Chenntegomma et au Sud Est du bassin sur Dj.Bouzendag et ne présentent que 04.23 % de la surface totale. Parmi les principales espèces végétales on trouve : le pin d'Alep, le chêne vert, le genévrier et le cèdre.

### 1.6.2 – Les Maquis (Terres des forêts dégradées) :

Ils occupent juste le massif du Dj Djahfa et présentent moins de 4% de la surface totale du bassin.

### 1.6. 3- Les parcours steppiques :

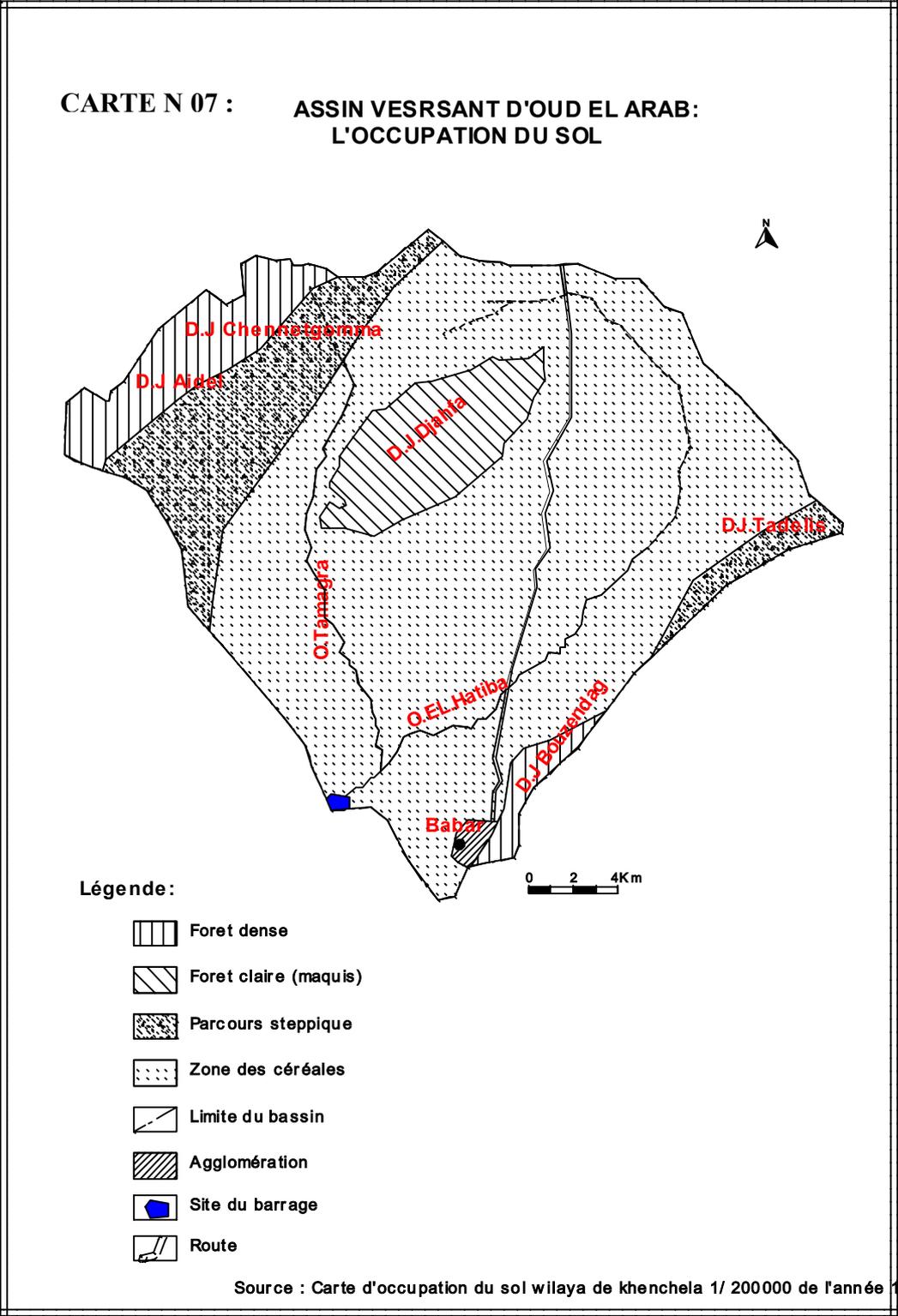
Formées en majorité des nappes alfatières (environ 07.05 % de la surface totale) qui se situent aux piedmonts Nord-Ouest des montagnes Dj.Aidel, Dj.Chenntegomma. Leur végétation est composée de deux strates (Arbuste et plante pérenne) et des espèces principales : Alfa, Armoise.

Elles jouent un rôle prépondérant au niveau du secteur de l'élevage extensif.

### 1.6. 4- Les céréales :

Ces terres représentent plus de 84% de la surface totale du bassin et se localisent dans la vallée ce qui donne à la zone l'aspect agropastorale d'où leur orientation à la semence des céréales et à l'élevage. Cet aspect favorise l'accélération

des effets érosifs par la démolition des particules du sol par l'élevage et l'action de labour dans le sens des pentes.



## 1.7 Les Paramètres du Relief:

Le comportement hydrologique d'un bassin est aussi lié au relief qui peut être traduit par plusieurs paramètres, soit par ses répartitions hypsométriques ou par ses indices de pente.

### ✓ Courbe hypsométrique :

La courbe hypsométrique Fig n° (2) 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'altitude du bassin :**

Classe d'altitude (m)	$S_i$ (km <sup>2</sup> )	$S_i$ accu	$S_i$ (%)	$V_i$ (km <sup>3</sup> )	$(a_i - a_{i-1})$ 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 – 1200m d'altitude et qui 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.

### ✓ 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 :

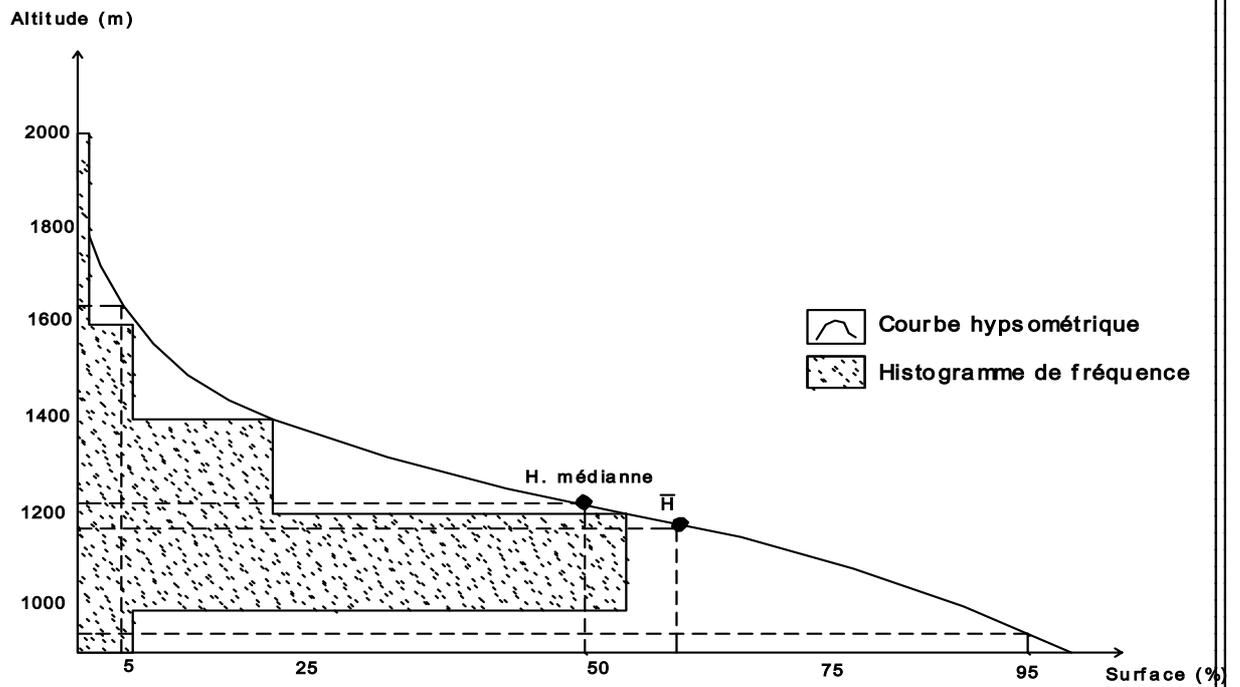
$$\bar{H} = \sum_i V_i / S_i \quad (01)$$

Où :

$$Vi = Si \frac{h_i + h_{i+1}}{2}$$

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

**Fig n 02 : BASSIN VERSANT DE L'OUED EL ARAB:  
L'HYSOMETRIE ET HYSTOGARMME DES FREQUENCES**



### c- Indice de pente de M<sup>f</sup> Roche :

Indice de pente de M<sup>f</sup> 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 :

$$IP = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n x_i \sqrt{\frac{a_i - a_{i-1}}{2}} \quad (04)$$

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 :

$$IP = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{b_i (a_i - a_{i-1})} \quad (05)$$

A partir du Tab n° (6), nous remplaçons ces termes par leurs valeurs, et nous obtenons:

$$IP = 05.81.$$

Ces deux valeurs de **P** et **IG** nous permettent d'affirmer que le relief est fort.

#### I.7.1 Les paramètres géographiques :

Le sou bassin de l'Oued El-Arab est d'une taille assez moyenne avec une superficie de 567 Km<sup>2</sup> et un périmètre de 95,24km.

$20 < IG < 35 \rightarrow$  relief fort, d'après la calcification de M<sup>f</sup> Grucoc.

Pour cela on détermine l'indice de M<sup>f</sup> Roche, Dénivelée spécifique.

#### a- L'indice de forme Kc :

L'indice de compacité de graveluis résulte de la comparaison du périmètre d'un bassin à celui d'un cercle équivalent ayant même surface. Il caractérise la forme du bassin versant. On différencie les bassins par l'importance de leur capacité, caractérisée par l'indice de forme, en bassins allongés et en bassins plus ramassées. Cet indice est défini par :

$$k_c = \frac{\text{périmètre du bas sin}}{\text{périmètre du cercle de même surface}} = \frac{P}{P_c} \quad (06)$$

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 :

$$p_c = \sqrt{2\pi A} \quad (07)$$

$A$  : surface du cercle circonscrit au bassin versant

Il vient donc

$$K_c = \frac{P}{p_c} = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (08)$$

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  $K_C = 1.12$

### **b- Le rectangle Equivalent :**

Le rectangle équivalent de M<sup>r</sup>. Roche fig n° (03) est défini comme étant le rectangle de mêmes paramètres géométriques de forme et d'hypsométrique que le bassin versant à étudier. Dans ce cas les courbes de niveau deviennent des droites parallèles aux 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 (8) on déduit facilement ces deux grandeurs ainsi :

$$L = \frac{kc\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 + \sqrt{1 - (1.12/kc)^2} \right] \quad (09)$$

$$l = \frac{kc\sqrt{A}}{1.12} \left[ 1 - \sqrt{1 - (1.12/kc)^2} \right] \quad (10)$$

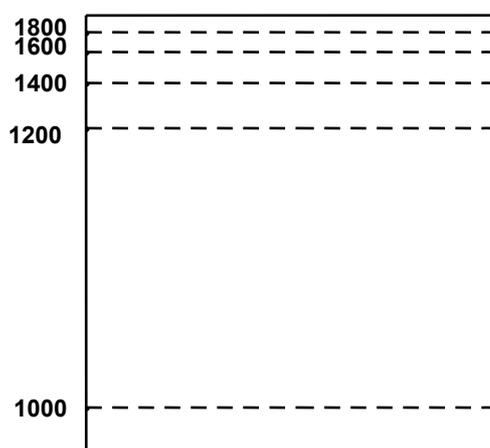
Comme on a :  $K_c = 1,12$  donc :

$$L = l = \sqrt{A}$$

$$L = 23.81\text{km}$$

Plus cet indice sera proche de l'unité, plus le bassin aura une forme ramassée et plus le temps de concentration des eaux seront court, ce qui est le cas du bassin versant de l'Oued L'Arab.

**Fig N°03 : LE RECTANGLE ECUVALENT  
DU BASSIN VERSANT**



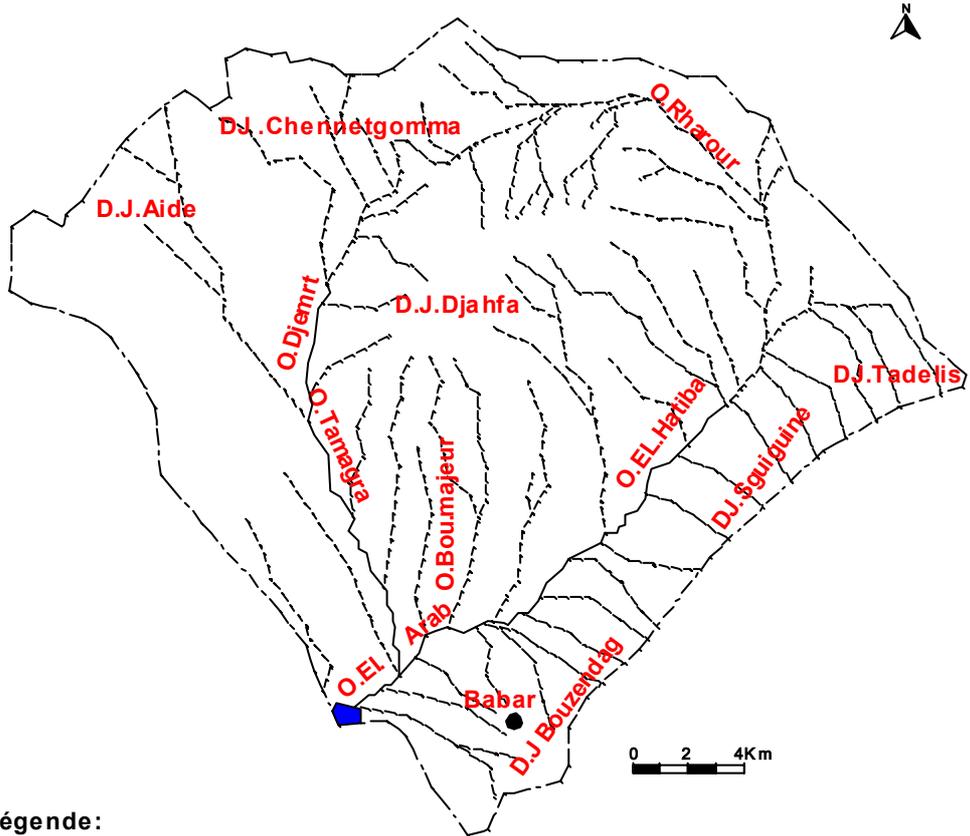
### **I.7.2 Les paramètres hydrographiques :**

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.

Le principe est de donner l'ordre  $x+1$  à tout tronçon le l'Oued formé par la réunion de deux cours d'eau de l'ordre  $x$ , ainsi sept ordres ont été déterminé dans notre bassin selon l'étude hydrographique du bassin versant faite par ANRAH sur une carte topographique à échelle 1/50000, Carte n° (08).

Le réseau hydrographique de notre bassin versant est constitué de plusieurs thalwegs (O. Tamagra, O. El Hatibat, ---) qui se rejoignent pour former l'Oued El Abiod, ce dernier constitue la partie amont de l'Oued El- Arab.

**CARTE N°08 : BASSIN VERSANT DE OUD EL ABIOD:  
LE RESEAU HYDROGRAPHIQUE**



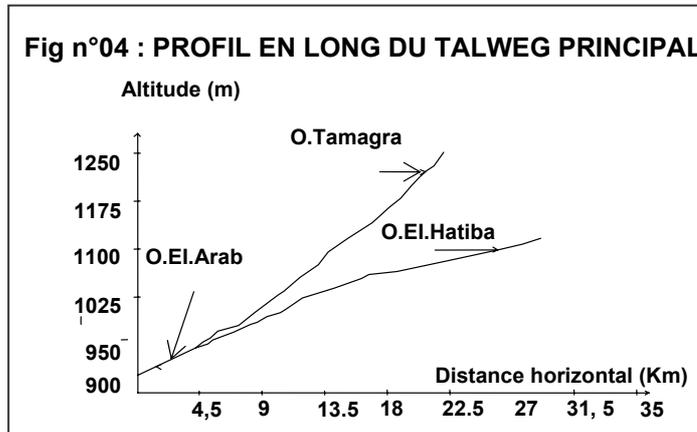
**Légende:**

-  Limite du bassin
-  Site du barrage
-  Réseau Hydrographique

Source : carte Topographique de khanchela 1/ 200000

### a- Le profil en long :

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 Fig n° (04).



Les grands traits qui ressortent de ces profils en long, dont une grande déclivité des affluents d'Oued El-Arab a sa partie à mont (o.tamagra, o.el hatiba) celle ci dépassent 70% surtout dans l'oued Tamagra ce qui représente la torrencialité des cous d'eau

### b- Densité de drainage $Dd$ :

C'est la longueur totale des cours d'eau de tous ordres sur la surface drainée soit :

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

Avec :  $L1 = \sum_{x=1}^n Lx$  .

$\sum_{x=1}^n Lx$  : 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  $km^2$

**Tab n° (06) : 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 : ANARAH.

Selon le Tab n° (06) on a :

$$Dd = 4,8 \text{ km/km}^2$$

**c- Coefficient de torrentialité :**

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

$$Ct = Dd \cdot F1 \tag{12}$$

Avec :

$$F1 = \frac{N1}{S}$$

N1 : fréquence des talwegs élémentaires

$$F1 = 7,27 \Rightarrow Ct = 34,89$$

**d- Temps de concentration :**

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 :

$$T_c = 4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 L_p / 0,8 \cdot \sqrt{h_{\max} - h_{\min}} \tag{13}$$

Avec :

$T_t$  : temps de concentration (heure)

$S$  : surface du bassin versant ( $567 \text{ km}^2$ )

$L_p$  : longueur du talweg principal ( $L_p = 51 \text{ km}$ )

$h_{\text{moy}}$  : altitude moyenne du bassin ( $h_{\text{moy}} = 1171,95 \text{ m}$ )

$h_{\text{min}}$  : altitude minimale du bassin  $h_{\text{min}} = 900 \text{ m}$ .

Ce qui donne, pour notre cas étudié, un temps de :  $T_c = 13,01$  heures.

### e- Vitesse de concentration :

C'est la vitesse moyenne de propagation de la crue définie par.

$$V_c = L_p / T_t \quad (\text{km/h}) \quad (14)$$

$L_p$ : longueur du talweg principal ( $L_p=51\text{km}$ .)

$T_t$ : temps de concentration (heure).

Soit pour notre cas :  $V_c=3.92\text{km/h}$ .

*Tab n° (07): Récapitulation des caractéristiques morfométriques*

paramètre		Unité	Valeur
Indice de forme	KC	-	01,12
Longueur du rectangle équivalent	L	km	23.81
Indice de pente de Mr Roche	IP	-	05.81
Dénivelée spécifique	Ds	m	689,82
Indice de pente globale	IG	m/km	28.97
Dénivelée simple	D	m	690
Surface du bassin	A	km <sup>2</sup>	567
Périmètre du bassin	P	Km	95,24
Densité de drainage	Dd	km/km <sup>2</sup>	4,8
Coefficient de torrentialité	Ct	-	34,89
Temps de concentration	Tc	h	13.0

Les résultats des caractéristiques morfométriques Tab n° (07), montre que la densité de drainage est assez faible, témoigner sur l'important de l'infiltration, ainsi un Coefficient de torrentialité et un temps de concentration assez grand, ceci est due au nombre considérable de talwegs de premier ordre et leurs complication, et la sinuosité qu'ils forment.

## 1.8 Données Climatiques :

### Introduction :

Les éléments climatiques tels la température, les précipitations, l'humidité de l'aire, le vent, etc....., associés aux paramètres physiques comme la lithologie du bassin versant les pentes, le couvert végétal,..., jouent un rôle important sur le régime hydrographique des cours d'eau..

Pour mettre en évidence les corrélations existantes entre le climat et l'écoulement d'une part et l'érosion d'autre part, nous nous sommes basés sur

l'exploitation des données recueillies sur les stations de :(BABAR, EL-HAMMA, BOUHMAMA, KTEF- SOUDA, KAIS) sur des périodes plus au moins longues, avec ou sans lacunes.

### **1.8.1 Caractéristiques climatiques de la région :**

Le climat des AURES appartient à l'étage bioclimatique semi-aride, en générale, il a la particularité d'être secoué par des vents secs et chauds (le SIROCO) sur la partie Sud-Ouest, et des vents froids et humides à la partie Nord-Est du massif des AURES.

La zone d'étude connaît des changements climatiques rigoureux. Les précipitations sont caractérisées par leur irrégularité et par leur caractère souvent torrentiel et érosif sur les sols nus.

Afin d'étudier les caractéristiques du climat de la zone d'étude, nous avons procédé à une extrapolation des données pluviométriques de plusieurs stations par la méthode des doubles cumuls qui consiste à vérifier des couples de stations relativement à une station de référence, celle qui représente les données les plus longues et les plus complètes. On a aussi réalisé une étude d'homogénéisation des données afin de combler d'éventuelles lacunes d'observations des stations en adoptant la méthode de correction linéaire avec la station de BABAR comme référence.

#### **a. Température de L'Air :**

La température est l'un des éléments principaux du climat qui influe sur tout le développement et la répartition spatiale de la végétation. Ce sont les Température extrêmes qui ont une influence marquée sur la végétation

Selon le *Tab n° (08)*, on peut constater que la température Moyenne mensuelle la plus élevée est celle du mois d'Août dans toutes les stations et dépasse 25,8 °c, par contre la moyenne la plus basse arrive jusqu'à 6°c à Babar et à Kais au mois de Janvier. Il en résulte, du *Tab n° (08)* que l'écart des températures mensuelles saisonnières et annuelles est grand et non constant.

**Tab n° (08): les moyennes mensuelles des températures (1971-2004)**

Station T°c	Babar			Kais			El. Hamma		
	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min	Moy	Max	Min
S	21,40	29,40	13,40	25,00	32,00	18,00	19,80	26,80	14,80
O	13,80	21,80	05,80	19,00	25,00	13,00	16,00	23,00	09,00
N	11,90	19,90	03,90	13,00	21,00	05,00	10,30	18,80	02,80
D	06,10	11,10	01,10	06,00	11,00	01,00	09,60	14,60	04,60
J	06,00	11,00	01,00	06,00	11,00	01,00	07,00	12,00	02,00
F	07,10	12,60	05,50	07,00	13,00	01,00	07,80	13,80	01,80
M	10,8	18,80	02,80	10,00	18,00	02,00	10,50	18,50	02,50
A	13,2	22,20	04,20	14,00	22,00	06,00	13,10	22,10	04,10
M	19,00	29,00	09,00	18,00	27,00	09,00	18,50	28,50	08,50
J	24,50	34,50	14,50	26,00	37,00	15,00	23,30	24,30	12,30
J	17,60	27,60	07,60	30,00	40,00	20,00	26,60	26,60	16,60
A	26,70	35,70	17,70	32,00	41,00	23,00	25,82	34,30	16,30
Moyen	14,94	22,80	07,20	14,16	24,83	09,40	15,40	22,75	07,95

### b. Les vents :

Bien que son action mécanique soit limitée, le vent a un rôle important à l'échelle microclimatique car il influe sur les valeurs d'autres paramètres tels que la température, l'humidité de l'air et le seuil de l'évapotranspiration du sol. Les vents dominants ont les directions Sud-Ouest et Nord-Est dans la région de BABAR.

- Les vents Nord-Est ont une fréquence au cours du mois d'Automne, d'Hiver et une tranche du printemps. Ils ont un caractère généralement pluvieux et une vitesse assez importante.
- Les vents Sud –Ouest (Sirocco): sont secs et chauds; ils soufflent fréquemment au mois de juillet et par fois même au printemps dont la valeur maximale de vitesse atteint 9m/s. Ils sont la cause d'augmentation de la température, de l'accélération de l'évaporation et de l'oxydation ce qui favorise la dissociation des particules du sol et le rend sensible à l'action érosive (hydrique et/ou éolienne).

### • c. L'évaporation :

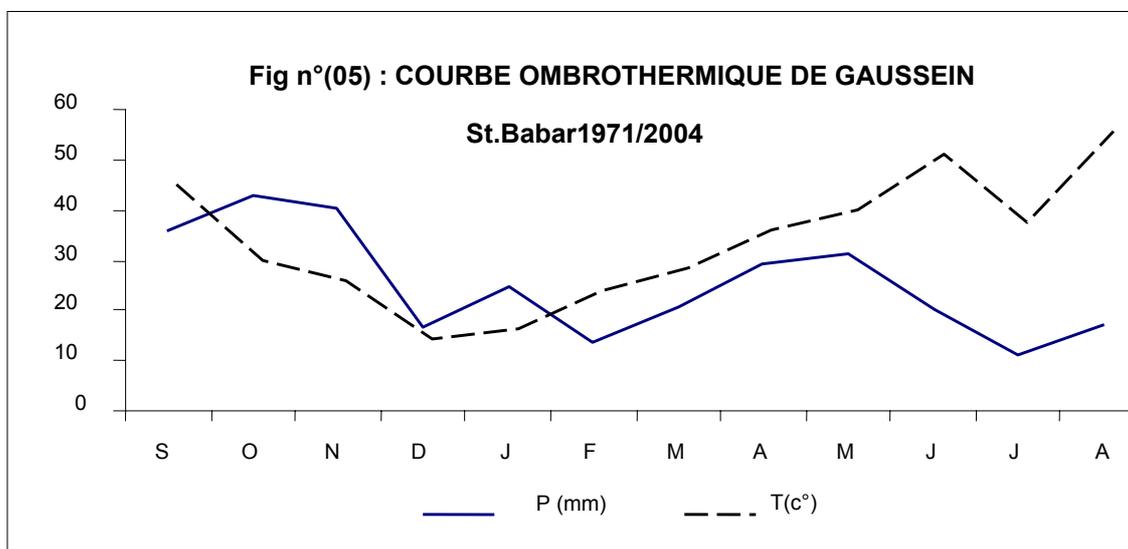
La zone d'étude appartient au versant sud de l'atlas saharien qui a un climat semi-aride, ce qui reflète la forte évaporation telle qu'il le montre le Tab n° (09)

**Tab n°(09) : Moyenne mensuelle d'évaporation (1994 -2004)**

Mios	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	année
Hamma	33	40	35	121	171	205	227	209	158	115	49	31	1454

#### d. Etude des précipitations :

Selon le Tab n° (10) des répartitions des pluies mensuelles et annuelles, et le diagramme Ombrothermique de la station Babar (1971-2004), fig n° (05), on peut distinguer deux périodes, l'une sèche et l'autre pluvieuse (300.02mm/an).



- ✓ **période pluvieuse (humide) :** Elle s'étend sur une période d'environ quatre mois (octobre à janvier) de faible température (moins 5°C) et qui représente 42,90% des pluies moyennes annuelles.
- ✓ **période sèche :** elle est plus longue que la première, elle se prolonge enivrent sur huit mois (février à septembre) de l'année, et pendant cette période La moyenne des pluies arrive aux valeurs minimales 11.2mm.

**Tab n° (10) : Précipitation Mensuelles (1971-2004)**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
St.Babar	35,7	43,0	40,3	16,7	24,9	14	20,6	29,2	31,1	20,3	11,2	17,0
St.Hamma	49	38,8	46,9	35	48,2	26	30	48	46,3	33,8	14,4	40,0
St.Kais	31,3	31,1	11,6	33,7	29,9	66	48,6	39,9	37	26,1	12,8	14,3
St.kt.Souda	21,9	27,8	22,1	17,4	11,7	5,3	18,7	25,8	13	9,3	8,2	21,9

- La zone d'étude reçoit une faible quantité de précipitation dont la répartition est caractérisée par l'irrégularité.

## **Conclusion :**

Le bassin versant de L'oued EL. Arab, au site du barrage de Babar, a une superficie de 567km<sup>2</sup>, une forme de carrée ( $k=1.12$ ) qui implique une forte compacité et un temps de concentration des cours d'eau a l'exutoire relativement grand (13heurs).

L'étude hypsométrique montre une prédominance de la tranche d'altitude qui correspond aux hautes plaines de Djahfa et des piedmonts de montagnes. Cette tranche d'altitude est marquée par une occupation permanente des cultures annuelles et par un réseau hydrographique dense, ce qui favorise l'érosion et le transport des matériaux solides vers le barrage. On constate encore, de notre analyse, que le bassin versant a un relief fort ( $IG=28.97m/k$ ), une perméabilité moyenne a élevée.

L'étude climatique montre que la zone ne reçoit qu'une faible quantité de précipitation qui ne dépasse pas les 300mm en moyenne.

*Chapitre n° 02:*

***ANALYSE STATISTIQUE  
DE LA PLUVIOMETRIE***

## **Introduction :**

Une étude hydrologique d'un bassin est basée sur les données pluviométriques observées, qui ne sont pas toujours exactes et elles nécessitent un ajustement. Alors pour contrôler les échantillons pluviométriques de plusieurs stations, on utilise souvent la méthode des doubles cumules 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.

### **2.1 Critères et homogénéisations des données pluviométriques :**

#### **2.1.1 Détection et Correction des erreurs :**

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

- En abscisses, on porte les totaux annuels pluviométriques cumulés de la station de base et en ordonnées 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, où on obtiendra plusieurs segments de droites avec de différentes pentes, ce la 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  $m'$ , alors l'une de deux séries est erronée.

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

La correction de la série ancienne s'effectue 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:

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

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

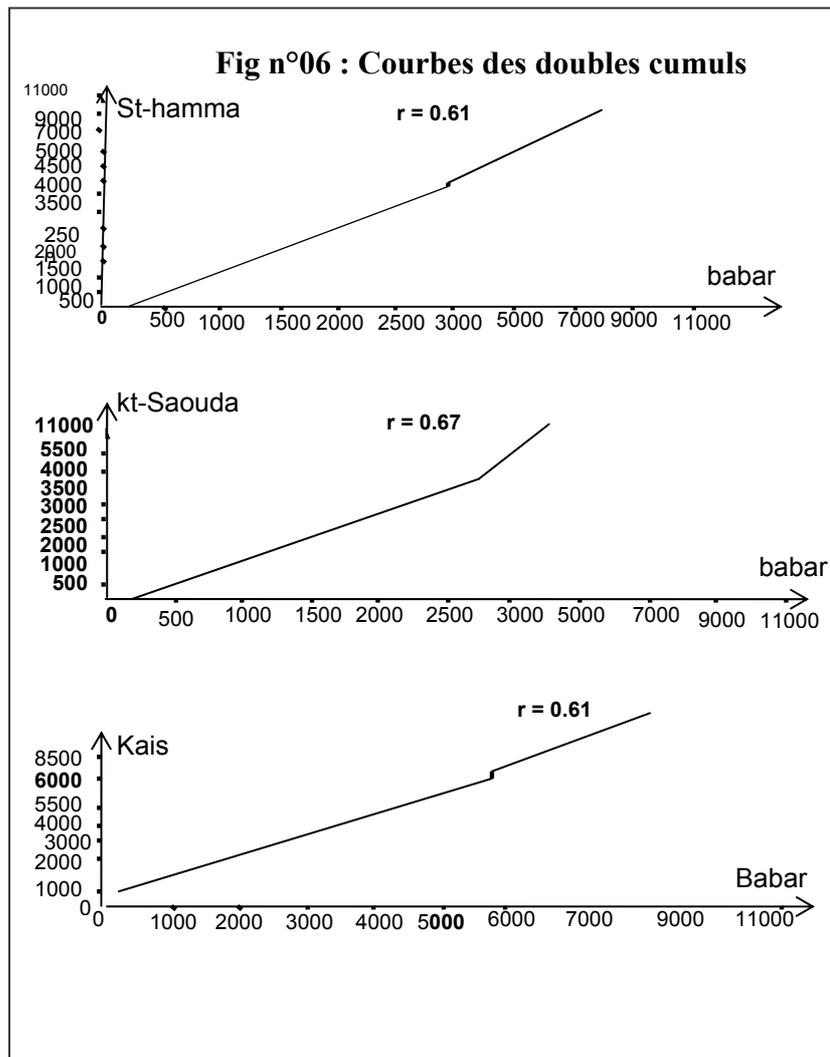
$$r = \frac{m'}{m} = 0,61$$

Station El Hamma :  $m = 2,22$ ,  $m' = 1,37$ ,  $r = 0,61$ .

Station : kais :  $m = 1,95$ ,  $m' = 1,19$ ,  $r = 0,61$ .

Station : k souda :  $m' = 0,62$ ,  $m' = 0,9$ ,  $r = 0,67$ .

Les résultats obtenus sont représentés dans le Tab n° (11), et la fig n° (06)



### 2.1.2 Comblement de lacunes :

On a constaté que les données, sur chacune des stations prises pour l'étude, contiennent des lacunes à l'échelle mensuelle et donc 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'observations dans un système de coordonnées en référés 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 :

$y = a x + b$  pour laquelle on détermine ses paramètres  $a$  et  $b$  en utilisant la méthode des moindres carrés qui donne:

$$a = \frac{\sum(x_i y_i) - N \bar{x} \bar{y}}{\sum(x_i)^2 - N \bar{x}^2} \quad (16)$$

$$b = \bar{y} - a \bar{x} \quad (17)$$

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:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (18)$$

**Tab n° (11) Précipitation annuelle pour les mêmes séries d'observation**

Station	El.Hamma	Cumule	Babar	Cumule	Kais	cumule	K.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

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.

On a constaté ainsi que le coefficient de corrélation, entre chaque station et la station de référence (Babar), est significatif donc le choix de la station de base est conforme.

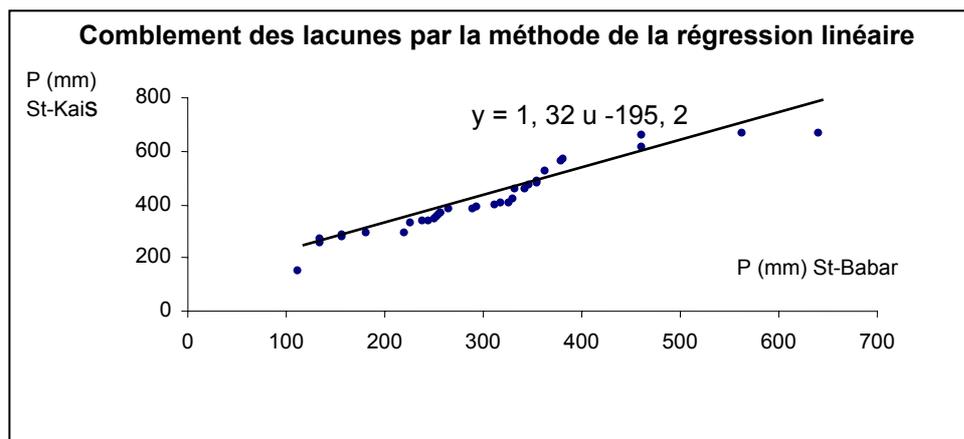
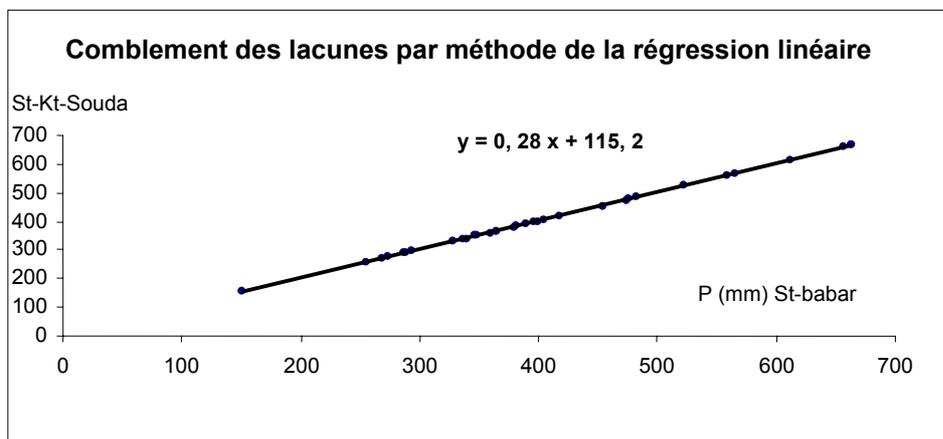
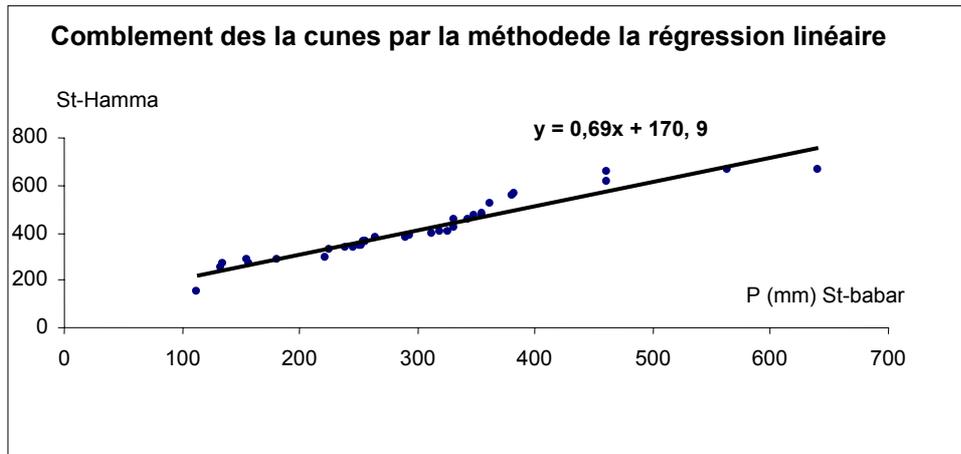
Ainsi on a pu déterminer et contrôler par la régression linéaire les valeurs lacunaires des stations. *Tab n° (12), fig n° (07).*

Corrélation entre	Année	$r$	Equation
BABAR (Y) et KTEF SOUDA	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	2001 à 2004	0,61	$y = 0,69x + 170,9$

## 2.2 Les précipitations annuelles :

Pour toute étude pluviométrique on doit prendre la série la plus longue et homogène dans notre cas, la série de 1971 à 2004.

Fig n° : (07)



Tab n° (12) : 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

### 2.2.1 Calcul de la lame d'eau moyenne annuelle :

On a plusieurs méthodes et procédures dont nous citerons :

- a -La moyenne arithmétique.
- b -Méthode de Thiessen

#### a. La moyenne arithmétique :

C'est la moyenne des valeurs des précipitations moyennes annuelles des pluies présent pour l'étude.

Station	Babr	El.Hamma	Kais	Kt.Souda
$P_i$ (mm)	300,02	456,57	399,45	204,5

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i}{N} \quad (19)$$

$p_i$  : Précipitation moyenne annuelle de chaque station,

$N$  : Nombre de station,

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

#### b. Méthode de Thiessen :

Cette méthode consiste à partager le bassin versant en polygones tel que les précipitations de chaque station représentent la précipitation moyenne sur une fraction du bassin délimitée par un polygone, *fig n° (08)*.

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

$$\bar{P} = \frac{\sum P_i S_i}{S_t} \quad (20)$$

$P_i$  : Précipitation annuelle.

$S_i$  : Superficie partielle du polygone.

$S_t$  : Superficie totale du bassin.

L'application a donné des résultats suivants :

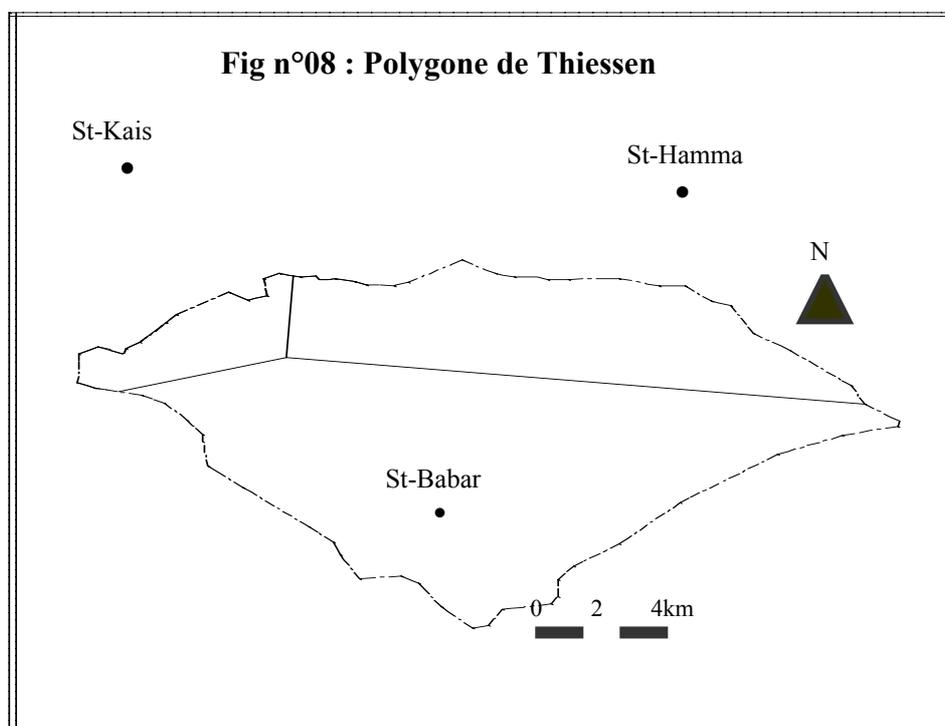
Station	Babar	Kais	El Hamma
$P_i$ (mm)	300,02	399,91	456,57
$S_i$ (km <sup>2</sup> )	375	32	160

D'ou :

$$\bar{P} = 349,80\text{mm.}$$

Les résultats obtenus par les deux méthodes sont :

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



### 2.3 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, comptera partir du 1 enfin calculer les fréquences expérimentales au non dépassement pour chaque valeur pour ceci se fera selon la formule :

$$F(x) = \frac{n - 0.5}{N} \quad (21)$$

$n$  : 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. **fig n°(09)**, La formule étant de type :

$$u = \frac{x - \bar{x}}{\partial_x} \quad (22)$$

$u$  : Variable de gausse.

$\bar{x}$  : Précipitation moyenne de la série.

$\partial_x$  : Écart type de la série.

Ce qui nous ramène à écrire l'équation de la droite d'HENRY sous la forme :

$$x = \bar{x} + \partial_x u \quad (23)$$

Afin de trouver la valeur d'une probabilité donnée de la moyenne annuelle des pluies. Tab n° (12).page 39.

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:**

$$\bar{P} = 300,02\text{mm.}$$

$$\partial = 115,98$$

$$Cv = 0,38$$

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	448,70

**Station kais :**

$$\bar{P} = 399,45\text{mm}$$

$$Cv = 0,29$$

$$\partial = 118,25$$

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 :**

$$\bar{P} = 456,57\text{mm}$$

$$\partial = 87,24$$

$$Cv = 0,19$$

Donc l'équation de la droite de HENRY sera de type :

$$y = 456,96 + 87,24 u.$$

$F_i$	0,5	0,1
$u_i$	0	1,282
$\bar{P}$ (mm)	456,57	568,41

**-Station ktef souda :**

$$\bar{P} = 204,40\text{mm}$$

$$\partial = 38,68$$

$$Cv = 0,2$$

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 rapport de deux points.

$F_i$	0,5	0,1
$u_i$	0	1,282
$\bar{p}$ (mm)	204,40	253,98

D'après les graphes de la **fig n° (09)**, 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.

### 2.3.1 Test d'adéquation d'une loi théorique : Test du $\chi^2$ :

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  $\chi^2$  (PEARSON). Pour se faire, on suit les étapes suivantes :

**a.** 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.

**b. Calcul de  $\chi^2$  :**

$$\chi^2 = \sum (n_i - n p_i)^2 / n p_i \quad (24)$$

Avec :

$n_i$  – effectif observé de la classe 'i'.

$n p_i$  effectif théorique de cette même classe.

**c.** On calcul le nombre du degré de liberté.

$$\mathcal{V} = K - 1 - P \quad (25)$$

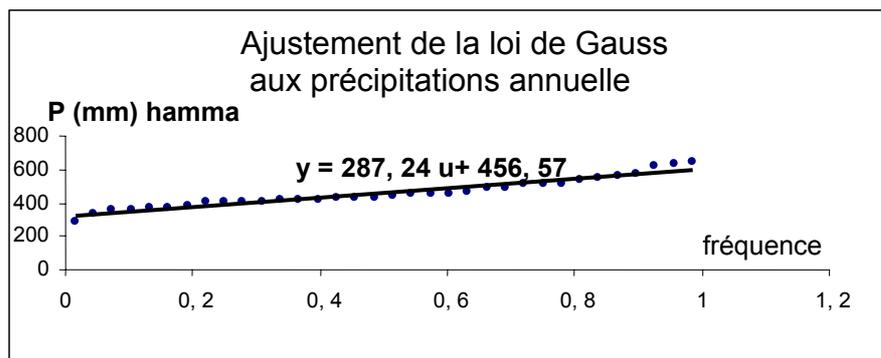
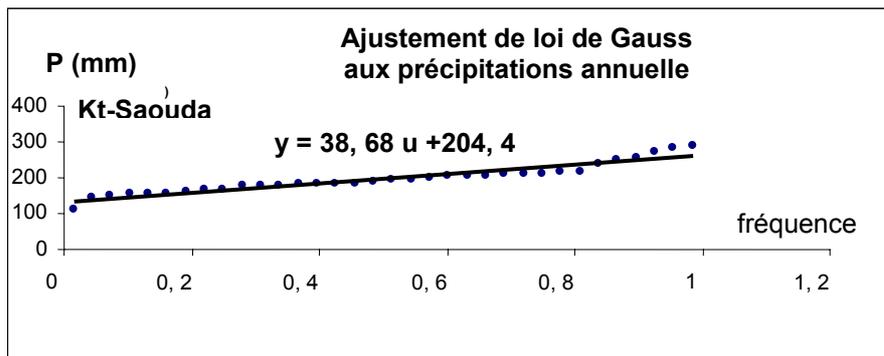
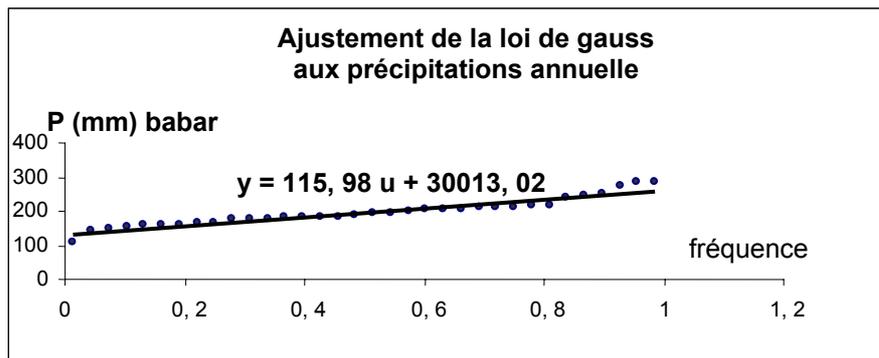
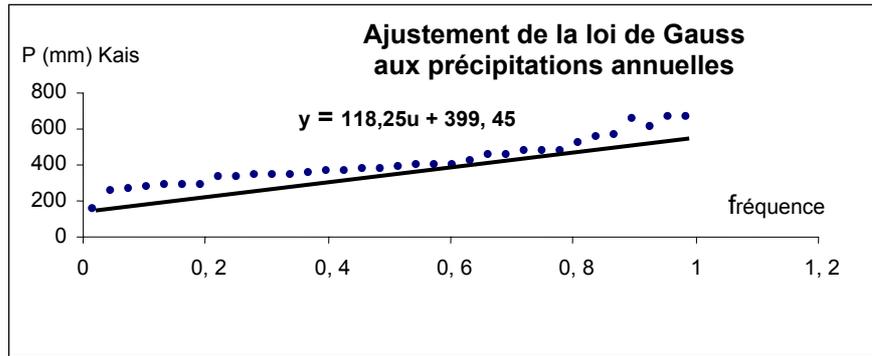
$K$  : nombre de classe.

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

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

$\alpha$  : Seuil du risque d'adéquation choisi généralement égal à : 0,05.

Fig n°:(09)



**-Le découpage en 5 classes :**

✓ **Classe 1 :**

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

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

✓ **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 <sub>i</sub>	n <sub>i</sub>	(n <sub>i</sub> - n p <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(n <sub>i</sub> - n p <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> / n p <sub>i</sub>
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 <sub>i</sub>	n p <sub>i</sub>	(n <sub>i</sub> - n p <sub>i</sub> ) <sup>2</sup>	(n <sub>i</sub> - n p <sub>i</sub> ) <sup>2</sup> / n p <sub>i</sub>
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  $\chi^2 = 0,56$  (valeur minimale).

Le degré de liberté sera égal :

$$\gamma = K - P - 1$$

$$\gamma = 6 - 2 - 1 = 3$$

$K$  : nombre de classes.

$P = 2$  (moyenne, variance).

$P(\chi^2) = P(0,56)$  on trouve à partir de l'abaque de PEARSON :  $P(0,56) > 0,05$ .

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,  $\alpha$  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 :**

$$\bar{x} = \pm \frac{u_{1-\alpha}}{2} \times \frac{\partial}{\sqrt{N}} \tag{26}$$

$$\partial = \pm \frac{u_{1-\alpha}}{2} \times \frac{\partial}{\sqrt{2N}} \tag{27}$$

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% :

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

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

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

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

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

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

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

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

❖ **Pour la variance :**

$$N = 34 < 50,$$

La variance empirique suit une loi de  $\chi^2$  avec un degré de liberté

$$d^{\circ} = 34 - 1 = 33.$$

D'onc pour un intervalle de confiance 95% :

$$\frac{1 - \alpha}{2} = 0,025 \Rightarrow u = 1,96$$

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

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

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

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

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 :

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

#### 2.4 Coefficient de variation et de régularité des pluies annuelles :

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

$$Cv = \frac{\partial_x}{\bar{x}} \quad (28)$$

$\partial_x$  : Ecart type de la série.

$\bar{x}$  : Précipitation moyenne annuelle.

**Tab n° (13): Différents paramètres**

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

On remarque que les valeurs de  $Cv$  sont comprises entre : 0,19 et 0,38 et quelles sont assez faibles.

On peut constater, d'après les données pluviométriques observées dont on dispose, que l'année la plus humide est 1972, avec des moyennes atteignant 641,8mm à la station El Hamma, 663,2mm à la station Kais, 640mm à station de Babar en année 1990, et 260,5mm à la station Kt-Souda pendant l'année 1998.

Les valeurs les plus élevées des pluies ont été enregistrées à la station El. Hamma dont l'altitude dépasse 1000m. Tandis que les valeurs les plus faibles sont enregistrées à la station de Kt .Saouda dont l'altitude est inférieure a 1000m, ce qui exprime la gradation des pluies en fonction d'altitude.

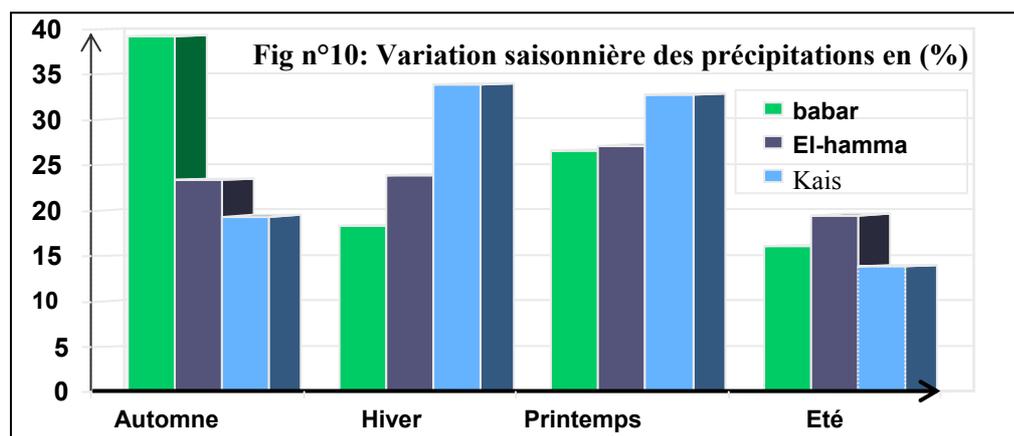
#### 2.4.1 Variations saisonnières et mensuelles des précipitations :

L'examen des données pluviométriques, montre une variation de la pluviométrie à l'échelle mensuelle Tab n° (10) page 32. On remarque que la distribution des précipitations mensuelles est irrégulière sur toute l'année et dans toutes les stations.

*Tab n° (14) : Variations Saisonnières des Précipitations*

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Saison	Automne			Hiver		Printemps		Eté				
Station	mm	%		mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
Babar	119,00	39,22		55,40	18,25	81,00	26,60	48,50	16,0			
.Hamma	134,70	29,35		110,00	23,90	124,6	27,15	89,60	19,5			
Souda	71,80	34,96		34,38	16,80	67,80	33,16	30,50	15,0			
Kais	74,05	19,36		129,59	33,88	125,6	32,83	53,27	13,9			

On trouve une grande différence inter saisonnière Tab n° (14) et fig n° (10), d'ou la majorité des pluies qui tombent s'étalent sur la période d'automne se forme d'averses (30% en moyenne dans tous les stations), dans la majorité des cas, s'ajoutent a l'absence du couvert végétal, se qui favorise l'érodibilité des sols.



## 2. 5 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, **Tab n° (15)**.

$$P_{j \max} = \frac{\overline{P_j}}{\sqrt{C_v^2 + 1}} \times e^{u\sqrt{\ln(C_v^2 + 1)}} \quad (29)$$

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 qui s'allonge 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 (21) et on détermine par la suite les valeurs de la variable réduite de GUMBEL par la formule suivante:

$$Y = -(\ln(\ln f(x))). \quad (30)$$

Les couples (valeurs de pluies maximales journalières) sont reportés en ordonnées sur papier à probabilité Gumbel et les fréquences en abscisse. **fig n°(11)**.

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

-On détermine les paramètres de la droite des pluies extrêmes,  $\left(x_0, \frac{1}{\alpha}\right)$ , ce qui permet de tracer la droite d'équation donnée par:

$$x = \frac{1}{\alpha} y + x_0 \quad (31)$$

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 :**

$$r = 0,95$$

$$\partial_x = 0,37$$

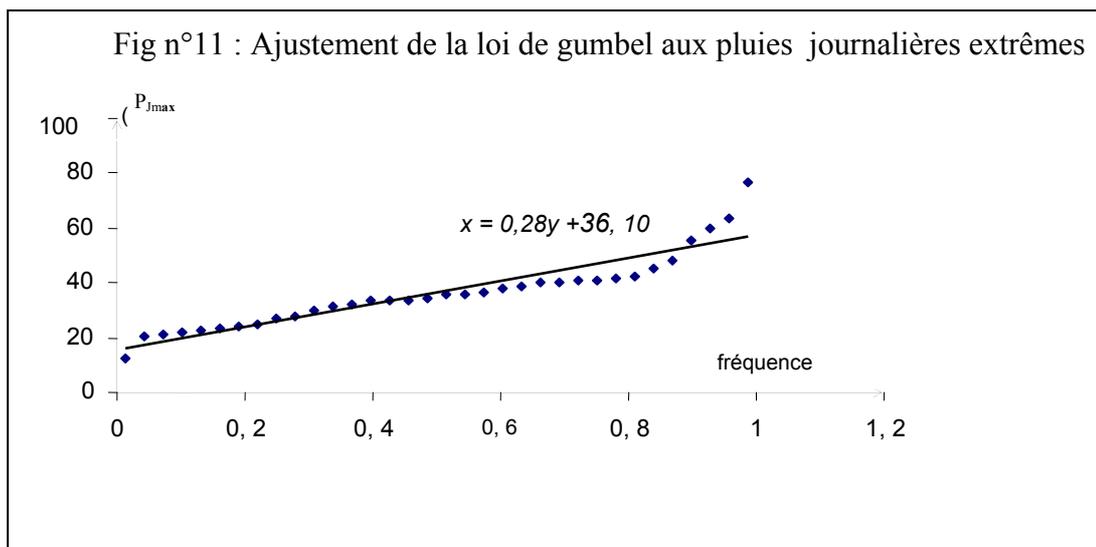
$$\partial_y = 1,26.$$

$$\frac{1}{\alpha} = r \frac{\partial x}{\partial y} = 0,28$$

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

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

- Alors l'équation de la droite de Gumbel sera comme suit :  $x = 0,28 y + 36,1$



**Tab n° (15) 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

## 2.5.1 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 :

$$P_t = P_{\max} \left( \frac{t}{24} \right)^b \quad (32)$$

$P_t$  : Pluie de courte durée en heure de fréquence donnée.

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

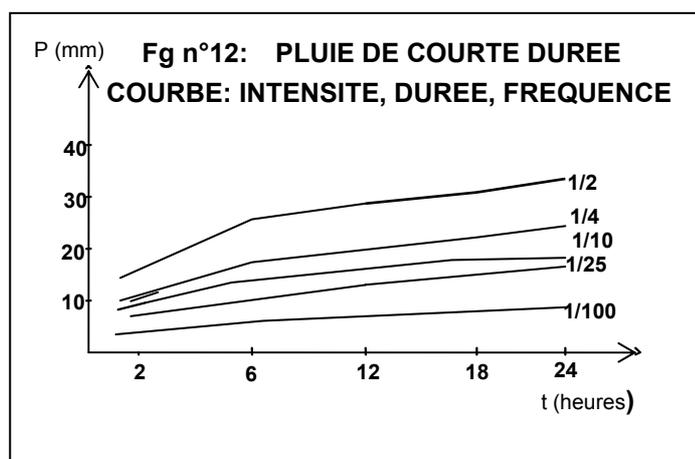
$P_{\max}$  : Pluie journalière maximale de fréquence donnée.

- Les résultats obtenus sont donnés dans le **Tab n° (16)**.

**Tab n°(16) : pluies de courte durée (Station de Babar).**

$t_r$ \ f	0,01	0,04	0,1	0,25	0
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

Par la suite, on trace les courbes des paramètres des ces pluies de courte durée fig n°12.



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

## 2.6 LES TERMES DU BILAN HYDRIQUE :

### 2.6.1 L'EVAPOTRANSPIRATION :

L'évapotranspiration est le phénomène de transformation de l'eau en vapeur par l'effet physique.

Cette évapotranspiration se constate lors de la formation de pellicules d'eau fines qui recouvrent les feuilles, les tiges de plantes ainsi que les surfaces d'eau stagnantes et les couches superficielles du sol.

On distingue deux types d'évapotranspirations :

- **Une évapotranspiration potentielle** : qui définit la quantité d'eau que le sol pourrait consommer dans les conditions optimums d'alimentation en eau en négligeant l'influence des facteurs externes.
- **Une évapotranspiration réelle** : qui est définie par la quantité d'eau réellement consommée.

#### 2. 6.1.1 CALCUL DE L'EVAPOTRANSPIRATION POTENTIELLE, ETP :

Plusieurs formules ont été prises en compte pour le calcul de l'ETP. Nous citerons celles utilisées fréquemment : Turc, Thornthwait et Panman.

En raison de l'indisponibilité de toutes les données nécessaires, nous optons pour la formule de Thornthwait qui s'applique bien aux conditions locales.

##### a. 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

$$ETP = 16(10 \times t / I)^a \quad (33)$$

Où:

$t$  : température moyenne en (c°).

$a$  : indice lié à la température qui est calculé suivant la relation :

$$a = 0,016 \times I + 0,5. \quad (34)$$

$I$  : 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 Tab n° (17) ci-dessous :

**Tab n° (17): ETP Mensuelles (St. Babar)**

Mois	<i>P</i> (mm)	<i>T</i> (c°)	<i>I</i>	<i>ETP</i> (mm)	<i>K</i>	<i>ETPc</i>
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	-	-	802,80

### 2. 6. 1.2 L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE :

Elle est définie comme étant la quantité d'eau réellement consommée par le sol sous l'action conjuguée de l'évaporation du sol et de la transpiration des plantes.

L'estimation de l'ETR se fait par plusieurs méthodes telles que:

#### a. Formule de TURC :

Selon TURC l'ETR se calcule comme suit :

$$ETR = P_m / (0,9 + (P^2/L^2))^{1/2} \quad (34)$$

Avec :

*ETR* : évapotranspiration réelle annuelle en (mm).

*P<sub>m</sub>* : pluie moyenne annuelle en (300,02mm).

*L* : pouvoir évaporant défini par :

$$L = 300 + 25 \times T + 0,05T^3 \quad (35)$$

Où :

*T* : température moyenne annuelle (14,84 C°).

Ce qui donne: **ETR = 298,70m**

### **b. Formule de WUNDT :**

L'abaque de WUNDT, fig n° (13), modifié par COUTAGNE (graphe), permet de déduire directement l'ETER en fonction de la température moyenne et des précipitations annuelles.

Avec :

$$P = 300 \text{ mm}$$

$$T = 14,84 \text{ C}^\circ$$

On aura à partir de l'abaque:

$$ETR = 300\text{mm}.$$

### **c. Formule de VERDEIL :**

VERDEIL a établi un abaque fig n° (14), qui permet de déduire le déficit d'écoulement qui correspond en réalité à l'évapotranspiration réelle.

A partir des graphes de la fig n° (14), on trouve :

$$P = 300,02\text{mm}$$

Ce qui donne:

$$ETR = 286,03\text{mm}$$

### **d. Formule de M. COUTAGNE :**

$$ERT = P_m - \lambda P^2 \quad (36)$$

Où:

$P_m$  : précipitation moyenne annuelle en (0,3mm)

$\lambda$  : Indice lie a la température par :

$$\lambda = 1 / (0,8 + 0,14T) \quad (37)$$

$T$  : température moyenne annuelle (14,84 C°).

Cette formule n'est applicable que lorsque :

$$1 / 8 \lambda < P < 1/2 \lambda$$

On aura donc :

$$0,36 < P < 1,44.$$

Et nous avons :

$$0,3 < 0,36$$

Donc il n'y a pas d'écoulement d'où :

$$P = ETR = 300,02\text{mm}.$$

FIG N° 13: EVALUATION DE L'EVAPOTRANSPIRATION REELLE

EN FONCTION DES TEMPERATURES MOYENNES

ET DES PRECIPITATIONS ANNUELLES - ABAQUE WUNDT MODIFIER PAR COUTAGNE

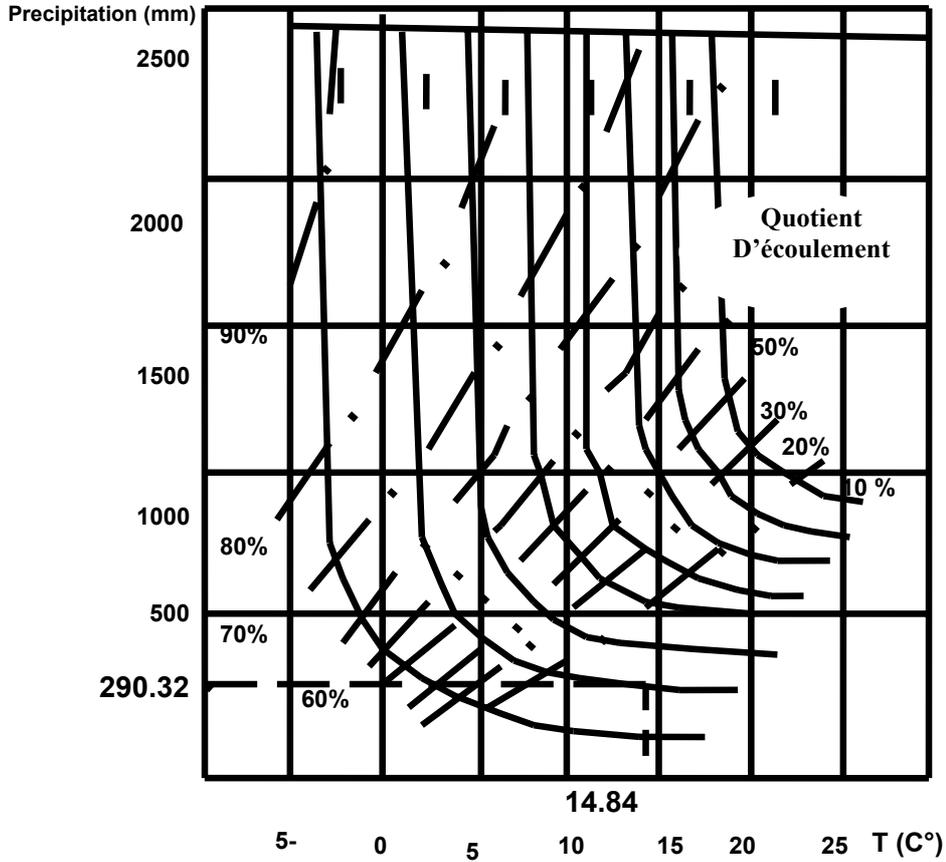
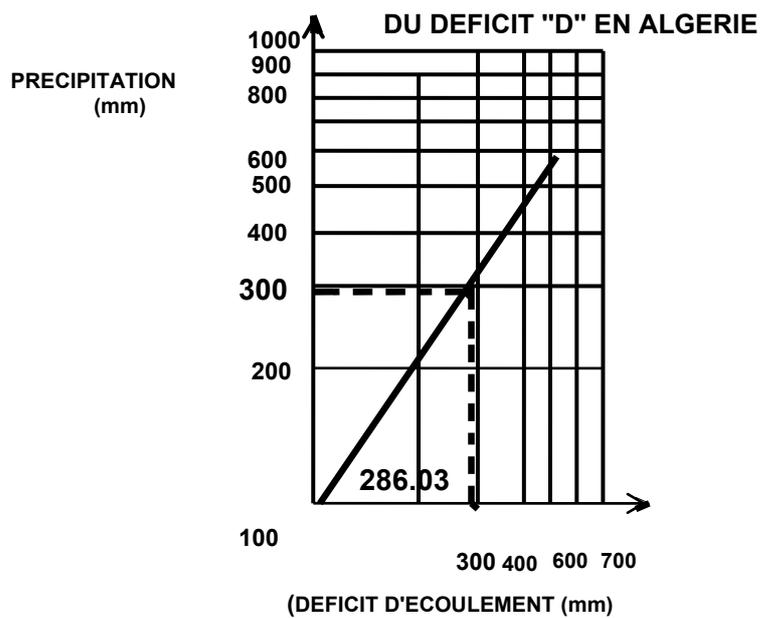


FIG N°14 : ABAQUE DE P. VERDEIL POUR LE CALCUL



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.

### 2.6.2 LE BILAN HYDRIQUE :

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

Pour établir ce bilan hydrologique nous admettons que le sol a une quantité d'eau maximale de 100mm. Thornthwaite 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 Thornthwaite ou :

- $P = ETR$  : 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 :

$$D_a = ETP - P. \quad (38)$$

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 ci-dessous.

**Tab n°(18): Bilan Hydrique Selon THORNTHWAITE (St. Babar).**

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
<b>P</b>	35,7	43,0	40,3	16,7	24,9	13,8	20,6	29,2	31,1	20,3	11,2	17,0
<b>ETPc</b>	98,4	49,4	39,2	14,5	13,6	16,9	33,6	46,0	81,6	121,7	72,4	139,3
<b>P-ETP</b>	-62,7	-6,4	1,1	2,2	11,3	-3,1	-13	-16,8	-50,5	101,4	-61,2	-122,3
<b>D<sub>ec</sub></b>	431	437,4	-	-	-	3,1	16,1	32,9	83,4	184,8	246	368,3
<b>RFU</b>	00	00	1,1	3,3	14,6	11,5	00	00	00	00	00	00
<b>ETR</b>	35,7	43,0	39,2	14,5	13,6	16,9	32,1	29,2	31,1	20,3	11,2	17,0
<b>De</b>	62,7	6,4	00	00	00	3,1	13	16,8	50,5	101,4	61,2	122,3
<b>Exd</b>	00	00	1,1	2,2	11,3	00	00	00	00	00	00	00

Nous remarquerons d'après ce bilan qu'à partir du mois novembre jusqu'au début de 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.

**Tab n° (19): Récapitulatif de L'évapotranspiration Calculées**

Méthode	TURC	THORNTHWAITE	WUNDT	VERDEIL	COUTAGNE
<b>P(mm)</b>	300,02	300,02	300,02	300,02	300,02
<b>ETR</b>	298,70	-	300,00	286,03	300,02
<b>ETP</b>	-	802,80	-	-	-

### 2.6.3 L'EQUATION DU BILAN YHDRIQUE:

L'équation du bilan d'après THORNTHWAITE exprimant l'égalité des pertes et des gains est définie comme suit :

$$P = ETR + R + I. \quad (39)$$

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).

### 2.6.4 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 :

$$R = P^3 / 3 (ETP)^2 \quad (40)$$

Où :

$R$  : lame ruisselée en (mm).

$P$  : précipitation moyenne annuelle en (mm).

$ETP$  : évapotranspiration potentielle en (mm).

$$R = (300.02)^3 / 3 (802,80)^2$$

$$R = 13,96mm.$$

### 2.6.5 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:

$$P = ETR + R + I. \quad (41)$$

Ou :

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

Avec : -  $ETR$  : évapotranspiration réelle en (mm)

-  $I$  : lame d'infiltration en (mm).

-  $R$  : ruissellement de surface (mm)

-  $P$  : précipitation annuelle en (mm)

**Tab n° (20) :L'infiltration par les différentes formules**

Méthode	$P$ (mm)	$ETR$ (mm)	$R$ (mm)	$I$ (mm)
<i>Thornthwaite</i>	300,02	-	13,96	-
<i>Turc</i>	300,02	298,70	13,96	-
<i>Wundt</i>	300,02	300,00	13,96	-
<i>Verdeil</i>	300,02	286,03	13,96	0,03

D'après les résultats de l'infiltration, seule la méthode de VERDIEL donne une valeur positive.

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.

## 2.7 Ecoulement moyen annuel du bassin versant d Oued El Arab.

### 2.7.1 Distribution statistique des débits annuels :

On a affaire à la phase dynamique du régime hydrologique où on utilise les lois d'ajustement en l'occurrence les lois de GUEMBL et de GALTON pour les ajuster à notre échantillon. fig n°(15).

*Tab n° (21): Caractéristiques Empiriques des lois d'ajustement.*

Année	Q (hm <sup>3</sup> )	A (hm <sup>3</sup> )	Rang	A(hm <sup>3</sup> )	$F_i$	$y=-\ln(-\ln f(x))$	$\ln x$
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 :  $A = Q \times 31,536$*

#### 2.7.1.1 Ajustement à la loi de GUMBEL :

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

$$\sigma = 14,88.$$

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

$$\sigma = 1,23$$

$$r = 0,74$$

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

$$x_0 = 8,06$$

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.

### 2 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 :  $\ln x = \partial u + \overline{\ln x}$  (42)

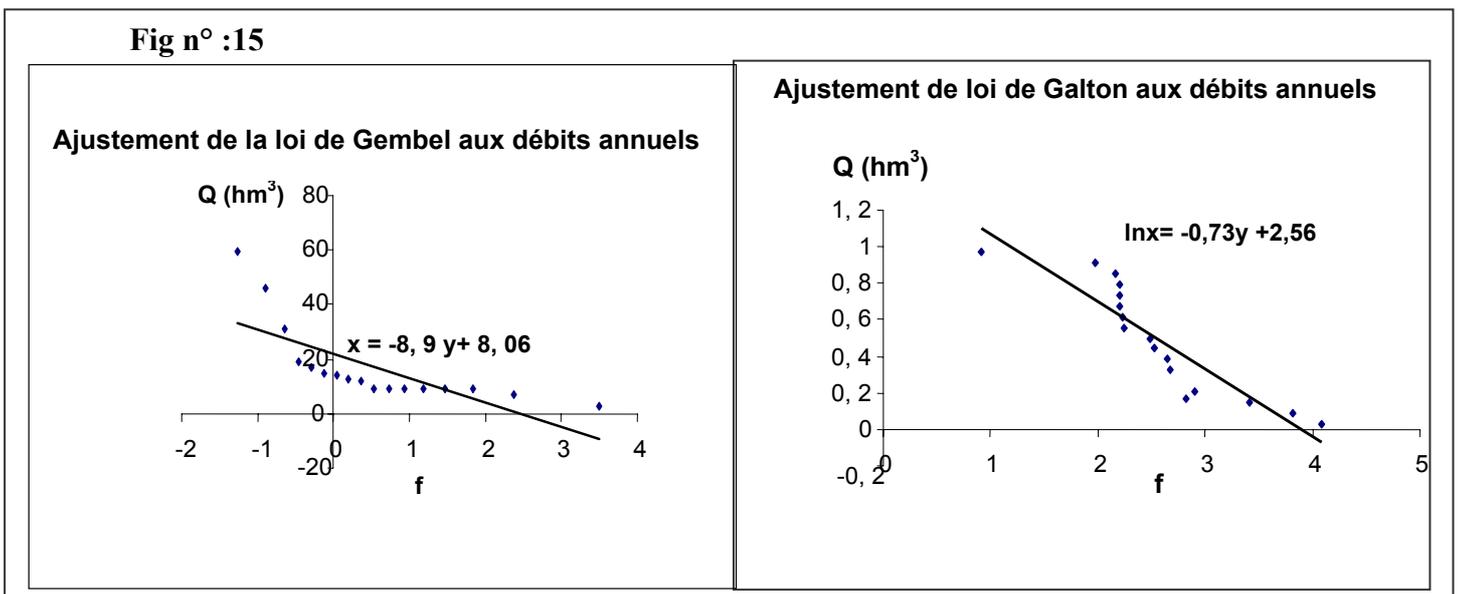
Dont la forme, dans notre cas, sera donnée :  $\ln x = 0,73 \times u + 2,56$ .

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° :15



### 2.7.2 Test d'adéquation ( $\chi^2$ ) :

-Calcul de  $\chi^2$  : pour cela, on applique la relation (24) page 44 en suivant les mêmes étapes vu précédemment pour l'ajustement des précipitations.

**Le découpage en 03 classes :**

**Classe 1 :**

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

$$Lnx = \hat{\sigma} u + \overline{\ln x} = 0,73.U + 2,56 \Rightarrow Lnx = 2,73 \Rightarrow x = 1,004$$

**Classe 2:**

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

$$Lnx = 0,73.U + 2,56 \Rightarrow Lnx = 2,45 \Rightarrow x = 0,89$$

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
-	-	-	-	-	<b>0,46</b>

**Le découpage en 02 classes :**

**Classe 1 :**

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

$$Lnx = \hat{\sigma} u + \overline{\ln x} = 0,73.0,75 + 2,56, \Rightarrow Lnx = 3,1 \longrightarrow x = 1,13$$

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
-	-	-	-	-	<b>1,46</b>

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

Donc, l'adéquation est satisfaisante.

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

Lorsqu'on projette la construction d'un ouvrage hydraulique, il faut déterminer le débit maximum probable de la crue au quel 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.

### 2.7.2.1 Calcul des Crues par des formules empiriques :

#### a. 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 :

$$Q_{\max} = 2K \text{Log} (1 + AH) \times (S/ L^{1/2}) \times (1 + \text{Log} T - \text{Log} S)^{1/2} \quad (43)$$

Avec:

$S$  : surface du bassin ( $567 \text{ km}^2$ ).

$L$  : longueur du talweg principal ( $51 \text{ km}$ ).

$T$  : période de retour de la crue sur année.

$H$  : pluie moyenne annuelle ( $300,3 \text{ mm}$ ).

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

Exemple d'application :  $T=10$ ans 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
$Q$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	301,91	452,12	503,19	644,40

#### b. Formule de Turazza :

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

$$Q_{\max} = (1/3,6) \times C_e \times I \times S \quad (44)$$

Avec :

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

$$I = P_{tc} / t_c \quad (45)$$

$P_{tc}$  : lame d'eau correspondent au temps de concentration.

$t_c$  : temps de concentration. ( $13,01 \text{ heures}$ )

$S$  : surface du bassin

$C_e$  : coefficient d'écoulement.

<i>F</i>	0,1	05	0,9	0,95
<i>P<sub>tc</sub></i>	17,5	28,2	44,83	52,6
<i>C<sub>e</sub></i>	0,06	0,3	0,6	0,75
<i>Q<sub>max</sub></i>	12,66	102,41	325,63	477,58
<i>I</i>	1,34	2,167	3,44	4,04

### c -Formule de POSSENT :

Elle est donnée se la forme suivante :

$$Q_{max} = (C P_{jmax} / L) (S_m + (1/3) S_p) \quad (46)$$

Avec :

*P* = pluie journalière de fréquence donnée.

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

*S<sub>m</sub>* : superficie montagneuse (190,90km<sup>2</sup>)

*S<sub>p</sub>* : superficie des pleines (376,1km<sup>2</sup>).

*L* : longueur de talweg principal (51km).

Les valeurs de *Q<sub>max</sub>* obtenue sont récapitulées ci-dessous

<i>F</i>	0,1	0,5	0,9	0,95
<i>Pr</i>	10	20	50	100
<i>P<sub>jmax</sub></i>	20,78	33,47	53,37	62,57
<i>Q<sub>max</sub></i>	96,6	155,6	248,12	290,89

### d. Formule de GIANDOTTI:

Elle est donnée se la forme suivante :

$$Q_{max} = C \times S \times P_{tc} \times (H_{moy} - H_{min}) / S^{1/2} + 1,5 \times L \quad (47)$$

Avec:

*P<sub>tc</sub>* : pluie de courte durée.

*S* : surface du bassin (567km<sup>2</sup>)

*H<sub>moy</sub>* : altitude moyenne (1109,98m).

*H<sub>min</sub>* : altitude minimal (900m)

*L* : longueur du talweg principale (51km).

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

<i>F</i>	0,1	0,5	0,9	0,95
<i>P<sub>ct</sub></i>	17,50	28,20	44,83	52,6
<i>Q<sub>max</sub></i>	256,34	413,08	656,24	770,49

**e. Formule de SOKOLOVSKY:**

Elle est donnée sous la forme suivante :

$$Q_{max} = (0,28 \times P_{tc} \times C \times S \times F) / t_c \quad (48)$$

Où :

$P_{tc}$  : pluie de courte durée

$C$ : coefficient d'écoulement.

$S$ : surface du bassin ( $567\text{km}^2$ ).

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

$t_m$ : temps de montée de la crue égale :  $t_c$  ( $t_c=13,01\text{heurs}$ )

$F$	0,5	0,5	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° (22) récapitulatif des débits maximaux de crue à différentes fréquences et à différentes formules**

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

- L'absence des observations hydrométriques, de longue durée à la station du bassin, va nous poser à l'utilisation de ces méthodes pour le calcul des débits maximaux des crues probables.

- Tous 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.

### 2.7.3 HYDROGRAMMES DES CRUES :

L'hydrogramme de calcul des crues représente la variation des débits d'un cours d'eau en fonction du temps de montée, temps de descente et le temps de base.

La forme de l'hydrogramme de la crue est déterminée selon la méthode de Sokolovski qui assimile l'hydrogramme à deux équations paraboliques, fig n° (16).

$$Q_t = Q_{max(\%)} \times (T / T_m)^2 \quad (49)$$

$$Q_{Dt} = Q_{max} (\%) \times (T_h - T / T_d)^3 \quad (50)$$

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 ( $x$ ).

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

#### 2.7.3.1 Description d'un cours d'eau :

- Un petit cours d'eau est vallonné dans les versants faiblement perméables, quand  $\gamma$  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 majeure normale, correspondant à :  $\gamma = 3$  à 4.

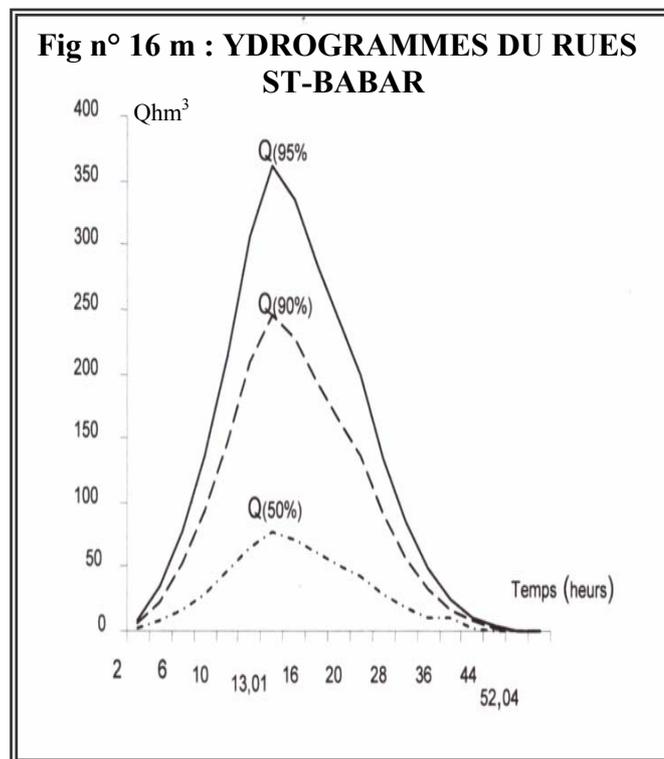
- Le grand et le moyen cours d'eau avec des terrasses de débordements étendues, correspondant aux valeurs de  $\gamma$  appartenant à l'intervalle [4 - 7].

Comme le bassin d'étude a une perméabilité moyenne à élevée, donc, la valeur prise au  $\gamma$  est égale 4.

$$T_d = \gamma T_m \rightarrow T_d = 39,03 \text{ h.}$$

$$T_h = T_m + T_d \rightarrow T_h = 52,04 \text{ h.}$$

} (51)



D'après l'hydro grammes des curés de la station de Babar en remarque :

**Tab n° (23): 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
<b>13,01</b>	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

- L'intégration des caractéristiques physiographiques et climatiques qui gouvernent les relations entre les précipitations et les débits pour un bassin versant donné.
- Ce pendant, malgré 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 au étage bioclimatique semi-aride avec une pluie moyenne annuelle calculée de 300mm/an (de la série), et qu'il influe par le versant nord plus pluvieux que versant bas. Cela, est remarqué dans le phénomène d'écoulement.

*Chapitre n° 03 :*

***ESTIMATION DES APPORTS  
ET PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT***

## **Introduction :**

La mesure et la connaissance du transport des matériaux solides en suspension jouent un rôle déterminant dans l'étude des mécanismes de l'envasement des barrages.

Ces accumulations de vase peuvent réduire la capacité initiale des barrages, ce qui nécessite un calcul des apports liquides et solides.

### **3.1. L'estimation des apports:**

L'estimation ou la quantification de l'érosion dans un bassin quelconque, est basée sur les données bathymétriques soulevées en vase des ouvrages hydriques, ou par des méthodes empiriques.

#### **3.1.1 La méthode empirique:**

En raison de l'absence des données bathymétriques du barrage de Oued el Arab, on a fait appel aux relations mathématiques qui relient entre les paramètres externes agissant sur le degré d'érosion.

##### **3.1.1.1 : Les apports liquides :**

Compte tenu de l'absence d'observations directes sur le régime hydrologique de l'oued El Arab à l'endroit du barrage, on a utilisé les formules empiriques et l'analogie hydrologique pour déterminer l'apport annuel théorique.

##### **a -Formule de SAMIE :**

Elle est donnée sous forme :

$$A = Le \times S \times 10^3$$

Avec:

$$Le = p^2 (293 - 2,2 S^{1/2})$$

(52)

$$Le = 21,65 \text{ mm.}$$

$$S : \text{surface du bassin (567 km}^2\text{)}$$

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

$Le$  : lame d'eau écoulée en (mm)

D'onc :

$$A = Le \times S \times 10^{-3}$$

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

**b- Formule de MALLET :**

$$Le = 0,6 p (1 - 10^{-0,36 \times p^2}) \times 10^3 \quad (53)$$

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

D'où :

$$A = Le \times S \times 10^{-3}$$

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

**c- Formule de J. DERY :**

$$A = 0,915 \times p^{2,68} \times S^{-0,158} \times 10^{-3} \quad (54)$$

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

**d- Formule de GOUTAGNE:**

Son expression est de type :

$$Le = P_{moy} (0,164 - 0,00145 \times S^{1/2}) \quad (55)$$

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

Donc :

$$A = Le \times S \times 10^3$$

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

Les résultats obtenus par ces différentes méthodes sont représentés dans le tableau ci-dessous :

**Tab n° (24) Récapitulatif des Résultats  
Empiriques de 'Le et A obtenu**

Formule	$Le$ (mm)	$A$ (hm <sup>3</sup> )
Samie	21,65	12,28
Mallet	12,94	7,33
Goutagne	38,84	22,02
J. Dery	--	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 conditions différents.

- Seule la valeur estimée aux apports liquides par la formule de **Samie** est proche de la réalité des conditions du milieu étudié.

### 3.1.1.2 Les apports solides :

Les dépôts solides sont constitués d'une part, des matériaux grossiers charriés 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.

L'estimation de l'apport solide, nous mène à évaluer le volume du barrage envasé (volume mort).

#### a- Formule de Fournier :

-Elle est basée sur le coefficient orographique, et de la disponibilité des pluies, formule n°: **(56)**

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

Ce pendant:

$D_s$  : Dégradation spécifique ( $t / km^2 / an$ ).

$h^2 / S$  / : Coefficient orographique ( $h = h_{moy} - h_{min}$ ).

$P'$  : Pluie moyenne du mois pluvieux de l'année ( $43mm$ ).

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

$C = \frac{P'}{\bar{P}_{an}}$  : 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.

**b -Formule de Tixeront :**

Comme notre bassin est situé dans l'Est Algérien, Tixeront a mis pour le calcul des apports solides fluviaux la relation suivante, appliquée à L'Est Algérien :

$$A = 92 R^{0,15} \quad (57)$$

Avec :

$R$  : lame d'eau écoulee annuelle (21,65mm)

$A$  : dégradation spécifique (t/ km<sup>2</sup>/an).

**c -Formule de Sogreah :**

Elle prend en considération la lame d'eau écoulee, et les changements de l'infiltration comme le montre le Tab n° (25)

**Tab n° (25): degré de l'infiltration selon Sogreah.**

Classe	Loi	Degré d'infiltration
1	$A = 8. R^{0,15}$	Perméabilité forte
2	$A = 75. R^{0,15}$	Perméabilité. Moyenne à forte
3	$A = 350. R^{0,15}$	Perméabilité. faible à moyenne
4	$A = 1400. R^{0,15}$	Perméabilité faible
5	$A = 3500 .R^{0,15}$	Perméabilité nulle

Comme notre bassin à une perméabilité moyenne a élevée, on va utiliser la relation suivante:

$$A = 75R^{0,15} \quad (58)$$

**d- Formule de ANRH :**

Elle est donnée par la relation suivante:

$$D_s = 4,49.Ct + 7,32.C - 144,28. \quad (59)$$

Avec :

$Ct$  : Coefficient de torrentialité. (34,89)

$C$  : indice de fournier ( $p'2 / p_{an}$ )

Les résultats obtenus par les quatre formules sont illustrés dans le Tab n° (26), ci-dessous :

**Tab n° (26) : Les résultats calculés par les méthodes empiriques de la 'D<sub>s</sub>'.**

formule	D <sub>s</sub> (t/km <sup>2</sup> /an)
Fournier	32,28
Sogréah	118,95
<b>Téxront</b>	<b>175,50</b>
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 Fournier 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.

-La formule de l'ANRH, est appliquée au nord du pays c'est pour ça que la valeur estimée est faible.

- seule la valeur calculée par la formule de TEXRONT (175,50 t/km<sup>2</sup>/an) qui est proche à la réalité de l'état d'érodibilité dans le bassin d'étude et implique les propriétés des paramètres étudiés (lithologie vulnérable, perméabilité moyenne a élevée,...).

### 3.2 Cartographie de sensibilité à l'érosion:

Cette approche nécessite l'étude de la sensibilité des terrains à l'érosion sous l'effet des agents externes, a fin de permettre la localisation et la classification des degrés d'érodibilité des sols dans une même unité physique.

#### 3.2.1 Calcul de l'érosivité:

##### a- Indice d'érosivité de fournier IF :

Il est donné par la relation suivante:

$$IF = \frac{P_i^2}{P_{an}} \quad (60)$$

Avec :

$p_i^2$  : La pluviométrie du mois le plus pluvieux en mm.

$\bar{P}_{an}$  : Hauteur moyenne annuelle des pluies mm/an.

**b- Indice d'érosivité Arnoldus 'IFA':**

Il a juste modifier 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:

$$IFA = \frac{\sum_{i=1}^{n=12} P_i^2}{\bar{P}_{an}} \quad (61)$$

Avec :

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

$\bar{P}_{an}$  : Pluie moyenne annuelle (mm).

**c- Calcul de l'erosibilité 'E' de fournier 1960:**

Elle est donnée par la relation n° (56).

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

Avec :  $E$  : dégradation du sol (t/km<sup>2</sup>/an).

$$C = IF = \frac{P^2}{\bar{P}_{an}}, \text{ indice de fournier (mm.)}$$

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

Les résultats de calcul pour les indices  $IF$ ,  $IFA$ ,  $E$ , sont reportés dans le Tab n° (27)

**Tab n° (27) Les résultats de calcul des indices 'IF, IFA, E'**

station	IF (mm)	IFA (mm)	E (t/km <sup>2</sup> an)
Babar	06,20	29,69	32,28
Hamma	05,28	40,96	21,46
Kais	10,89	37,12	146,25

**d- L'indice de wischmeier 'R':**

Il est donné par la relation suivante :

$$R = KC^n \quad (62)$$

Avec :

$$C = h_1 \times h_{24} \times \bar{H} \quad (63)$$

Ce pendant :

$h_1$  : Hauteur maximum de pluie tombée en 1 heure avec une période de retour de 2ans.

$h_{24}$  : Hauteur maximum de pluie tombée en 24 heures avec une période de retour de 2 ans.

$\bar{H}$  : Hauteur moyenne annuelle de pluie.

$K, n$  : Des coefficients lies aux climat, (sous climat semi-aride:  $K = 0,751, n = 0,80$ ).

Pour l'estimation des pluies tombées pendant des avars de différentes périodes (t) et de fréquences suitées, on applique la relation n°(32).

$$P_{t(\%)} = \bar{P}_{j(\%)} \times \left( \frac{t}{24} \right)^b$$

Avec :

$P_{t(\%)}$  : Hauteur de pluie de fréquence et durée donnée.

$\bar{P}_{j(\%)}$  : Moyenne des pluies journalières maximales annuelles.

$t$  : Temps de concentration.

$b$  : Exposant climatique de chaque station.

Les pluies journalières maximums d'une fréquence donnée sont déterminées par la relation n° (29):

$$P_{j(\%)} = \frac{\bar{P}_j}{\sqrt{Cv^2 + 1}} \times e^{u \times \sqrt{Ln(Cv^2 + 1)}}$$

Pour les pluies de courte durée (avars) de différentes fréquences la relation sera comme suite:

$$P_{j(\%)} = \frac{\bar{P}_j}{\sqrt{Cv^2 + 1}} \quad (64)$$

Ce pendant :

$P_{j(\%)}$  : Les pluies moyennes journalières estimées à partir de la régression linéaire faite avec les pluies annuelles.

En Algérie, trois relations ont été adoptées pour ça.

$$\bar{P}_j = 0,0525 \times \bar{P}_{an} + 18,6. \rightarrow \text{relation (1)}$$

$$\bar{P}_j = 0,088 \times \bar{P}_{an} + 9,2 \rightarrow \text{relation (2)}$$

$$\bar{P}_j = 0,233 \times \bar{P}_{an} + 6,1 \rightarrow \text{relation (3)}.$$

Dans notre cas, on prend la relation n° (1).

$$\bar{P}_j = 0,0525 \times \bar{P}_{an} + 18,6.$$

(65)

Pour la St- Babar:

$$\bar{P}_j = 0,0525 \times 300,02 + 18,6 = 20,175 \text{ mm}$$

Les mêmes étapes pour les autres stations, on obtient les résultats illustrés dans le Tab n° (28) ci-dessous.

**Tab n° (28): calcul de l'indice de Wischmeier 'R'.**

station	babar	Kais	hamma
Altitude (m)	945	960	1125
Cv	0,38	0,29	0,19
b	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 <sup>2</sup> )	36,42	58,27	73,44

Les résultats obtenus des calculs de différentes indices d'érosivité 'IF, IFA, E, R' sont présentés dans le Tab n° (29)

**Tab n° (29) 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
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, ce pendant:

-l'indice de Wischmeier varie en hiérarchie de  $36,42 \text{ t/km}^2$  à  $73,44 \text{ t/km}^2$  respectivement à la station d'El Hamma à 1125m.

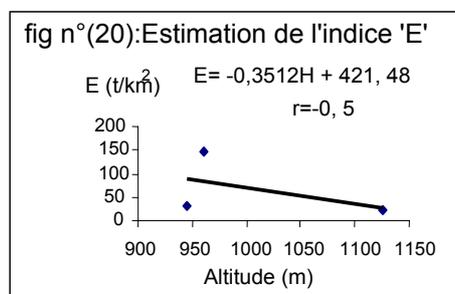
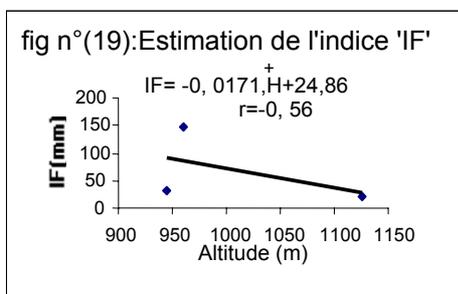
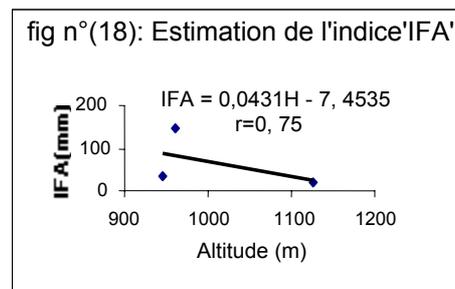
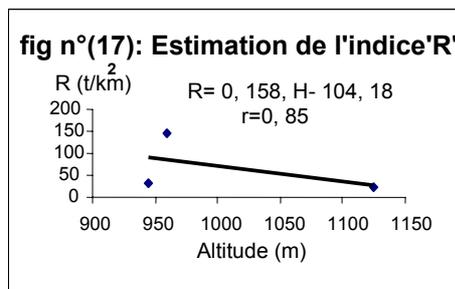
- les valeurs calculées des deux indices de 'Fournier et Arnoldus' sont assez faibles dans toutes les stations, ce qu'indique la faible quantité de pluies que reçoit le bassin versant.

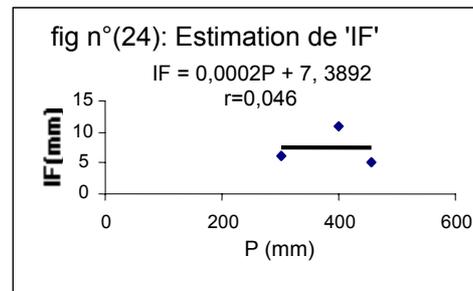
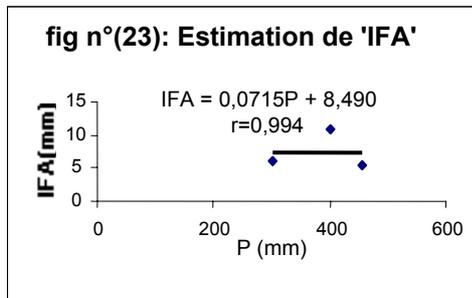
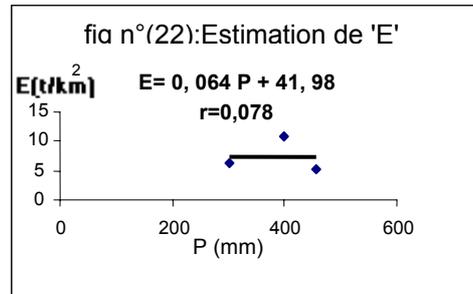
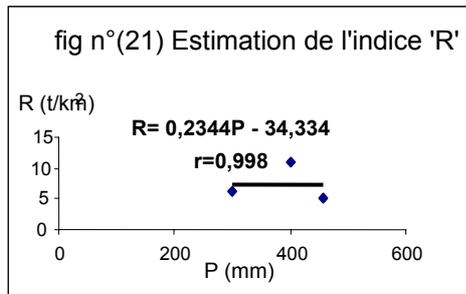
- L'indice d'érosion de 'Fournier', malgré que ces valeurs sont faible mais il nous montre une diversité dans sa répartition spatiale.

### 3.2.2 Etude des corrélations:

Pour engendrer et localiser la répartition spatiale des indices d'érosivité,  $IF$ ,  $IFA$ ,  $R$ ,  $E$ , on va se baser sur la corrélation simple existante entre ces paramètres tels que :  $R = f(P_{an})$  et  $R = f(H)$ .

Les résultats de ces tests de corrélation des indices d'érosivité sont représentés dans le tableau n° (30) et les figures n° (17,...24) ci-dessous.





Tab n° (30) coefficient de corrélation entre les indices climatiques, pluies et altitudes

Indices	<i>E</i>	<i>IF</i>	<i>IFA</i>	<i>R</i>
<i>P</i> (mm)	0,078	0,046	0,994	0,998
$r_{\text{Altitude (m)}}$	-0,5	-0,56	0,75	0,85

D'après le coefficient de corrélation ( $r$ ), la relation la plus acceptable est celle de:  $R, IFA, IF = f(P_{an})$ , 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 (signe négatif de ' $r$ ').

Le zonage des classes d'érosivités était fait en fonction des altitudes, en utilisant les équations de régression pour estimer la valeur de ces variables de n'importe quel point 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'érosivités des indices: *R*, *IFA*.

<i>Classes d'Altitudes</i>	<i>R</i>	<i>IFA</i>
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 zone qui s'intercalaire entre 900et1000m répond au risque d'érosion faible.

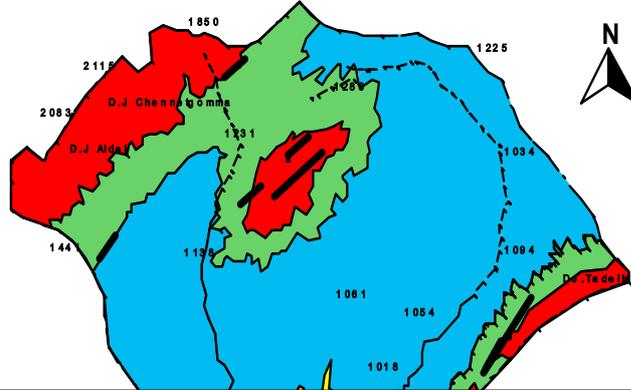
-la zone entre 1000-1200m désigne la plaine de Djhfafa et les piedmonts des versants dont le risque d'érosion est moyen.

-la zone de 1200-1400m zones des piedmonts ou le risque d'érosion est élevé.

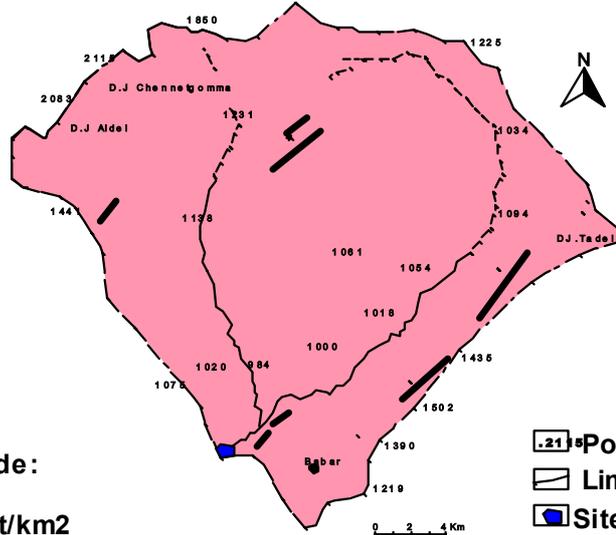
- la zone située sur plus de 1400m zone des hauts versants ou le risque d'érosion est très élevé.

La carphographie d'isoérosivités des terrains du site sont établies dans les cartes n° (9,...13).

**CARTE N° 03: carte d'érosivité - indice wichmeier (R)**



**CARTE N° 05: carte d'érosivité - indice (E)**

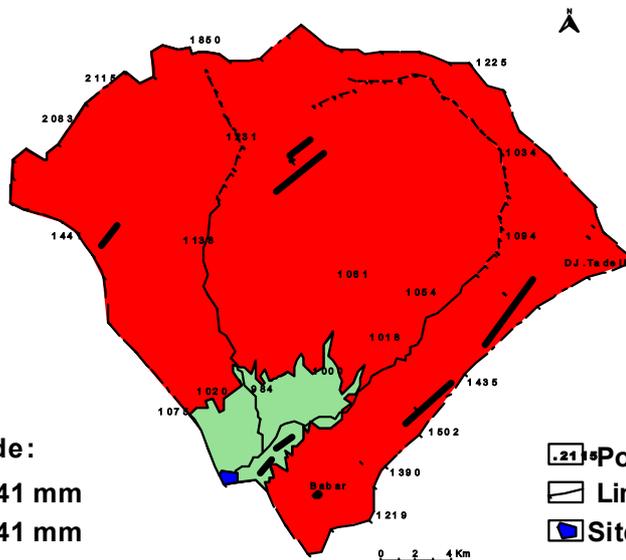


Légende:

■ < 8 t/km2

- Point Altimétrique
- Limite du bassin
- Site du barrage

**CARTE N° 06: carte d'érosivité - indice Arnoldus (IFA)**



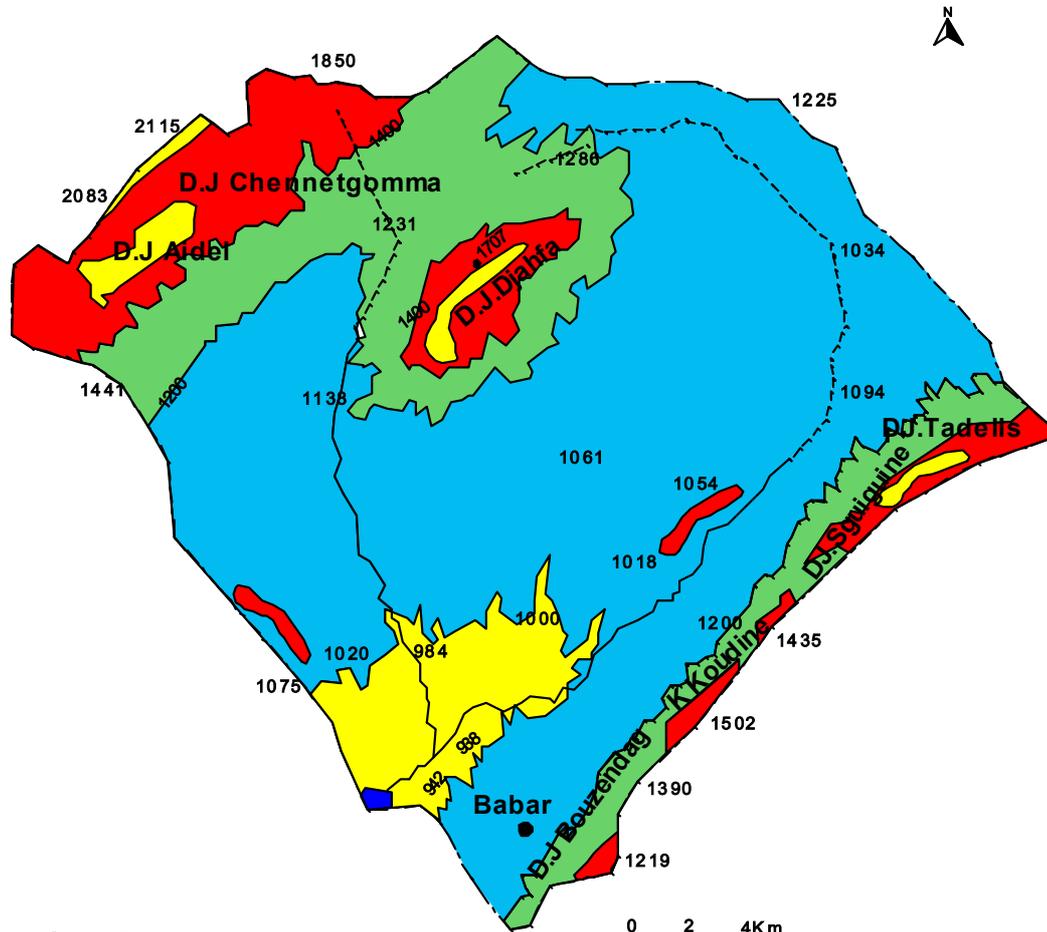
Légende:

■ < 6.41 mm  
 ■ > 6.41 mm

- Point Altimétrique
- Limite du bassin
- Site du barrage

**CARTE N 13 :**

**carte de synthèse d'érosivité**



**Légende:**

- |  |  |
|--|--|
|  érosion très élevé |  Point Altimétrique |
|  érosion élevé      |  Limite du bassin   |
|  érosion moyen      |  Site du barrage    |
|  érosion faible     |  |

### 3-3 Evaluation du taux d'envasement par la méthode de Wood- Burn:

Pour le calcul de la quantité des sédiments fluviaux transportés vers le barrage, Wood- Burn a mis la relation suivante :

$$SP = 2,492 \times S^{0,9151} \times D_s^{0,8308} \times t^{0,7329} .$$

(66)

Avec :

$SP$  : Sédimentation produite dans le barrage (tonne).

$S$  : Surface du bassin (567km<sup>2</sup>).

$D_s$  : Dégradation spécifique (175,5 t/km<sup>2</sup>/an, de TEXIRONT).

$t$  : Durée de vie du barrage espérée (50ans).

Donc :

$$SP = 1061861,21 \text{ tonne. Se qui donne } 21237,22 \text{ t / an.}$$

D'où, le taux d'envasement de ce barrage pendant sa durée de vie, avec cette quantité de sédiments dont un poids spécifique  $\gamma = 1,6 \text{ t / m}^3$ , va s'approcher à 10% de son volume initial ( $40 \times 10^6 \text{ m}^3$ ), se qu'il donne une durée de vie ne dépasse pas de 40ans.

Vu l'absence des données bathymétriques sur l'ouvrage, de Oued el Arab, on s'est basé pour l'estimation des apports solides sur différentes approches qui tiennent compte de l'analyse cartographique de la sensibilité des terrains au phénomène d'érosion hydrique, qui a fait sortir quatre classes (zones) d'érosion sur le bassin d'étude.

Cependant la méthode de WICHMEIER apparaît la plus représentative du phénomène érosif dans la région, ces résultats correspondent avec ceux de TEXIRONT.

Notre analyse montre que cet ouvrage est exposé au risque de l'envasement rapide.

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

### **3.4 LES PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT:**

D'après l'étude analytique du bassin versant de l'Oued El Arab au site du barrage (Babar) et selon l'étude géomorphologique et hydroclimatique qui détermine la dynamique du milieu due à l'intensité d'érosion hydrique et son influence sur la stabilité des sols du bassin, d'où leur impact négatif sur les potentialités et les ressources naturelles (dégradation des terres agricoles) ainsi qu'artificielles (envasement des ouvrages hydriques).

Ainsi une action d'aménagement du bassin versant de El. Oued El Arab devient impérative afin de stabiliser le sol et de le protéger contre l'érosion.

Ces actions d'aménagement se concentrent essentiellement sur deux cotés.

#### **3.4.1 Coté naturel :**

La protection et la fixation des sols contre l'érosion hydrique doivent se faire par l'implantation des espèces s'adaptant au type du sol d'une part, et du climat semi-aride d'autre part comme le montre la carte n° (14).

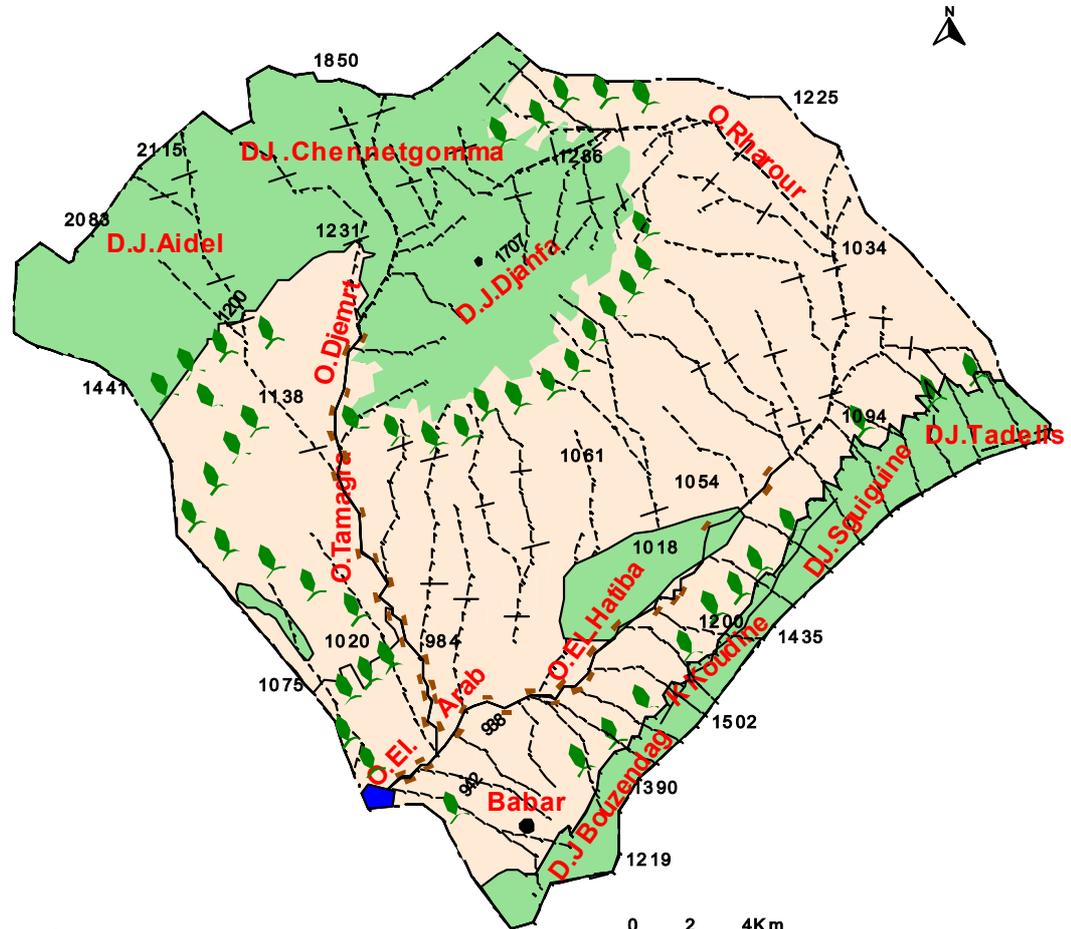
- ✓ Reboisement des zones forestières par des arbres et des plantes forestières tels que: le Pins D'alpe, le Cède, le genévrier, à l'extrémité Nord Ouest (Dj. Aidel, Dj. Chenntegouma), et à (Dj. Bouzendag, Dj. Tadelist) au Sud Est du bassin versant.
- ✓ Construction des Banquettes en pierres sèches dans le sens des courbes de niveau pour baisser la vitesse d'écoulement et d'empêcher le transport hydrique des sédiments vers l'ouvrage (barrage).

Protection des piedmonts des montagnes et d'exploiter les terres nues, par l'implantation des espèces steppiques qui s'adaptent à la nature des sols rocheux et aux sécheresses (climat aride et semi aride) tel que le Figuier de Barbarie, qui est doublement important pour :

- La production d'un réservoir fourragères aux animaux et offre un revenu complémentaire aux sociétés agropastorales, par la vente des fruits.

## CARTE N 14 :

### LES PROPOSITIONS D'AMENAGEMENT



#### Légende :

- |   |  |   |                    |
|---|--|---|--------------------|
|  | Plantation des espèces steppiques (figuier Barbarie) |  | Point Altimétrique |
|  | Reboisements forestiers                              |  | Limite du bassin   |
|  | Culture annuelle + plantations fruitières            |  | Site du barrage    |
|  | Murette en pierres                                   |  | Oued               |
|  | Mur de soutènement en pierres sèche                  |   |                    |

- La protection et la conservation des zones sensibles à l'érosion hydriques par ces denses racines, et l'efficacité dans la lutte contre la désertification dans les espaces pastoraux.

En outre, la culture de figuier Barbarie, présente des incidences prouvées sur la mutation spatiale par :

- son pouvoir sur l'évolution des sols.
  - Ses capacités de création d'un bioclimat localisé.
- ✓ Création des Murettes en pierres perpendiculaires aux ravinements pour former un obstacle à la vitesse de ruissellement et un filtre aux sédiments transportés par ruissellement, et qui entravent la formation des oueds à partir des petits ravins.
- ✓ Réalisation des murs de soutènement sur les berges des oueds avec l'implantation linéaires des arbres dont des racines denses et longues, surtout dans les parties où se présentent les trajets des oueds inondés (méandres) pour les protéger contre les détractions (glissements des berges).

### **3.4-2- Coté agricole:**

Malgré que les pentes de ces terres soient faibles en général, elles sont soumises à l'érosion intense hydrique et éolienne. Cela est dû essentiellement à la simultanéité d'un ensemble de facteurs qui s'ajoutent aux facteurs climatiques (Averses) qui les favorisent à savoir:

- Les travaux agricoles (labour dans le sens de la pente), et l'action intensive du pâturage (surpâturage).
- L'abondance totale de ces terres.
- L'absence ou la faiblesse du couvert végétal. L'absence de l'investissement dans le secteur agricole.

Ce qui nécessite une intervention d'aménagement rapide dans ce cadre tels que:

- ☒ L'exploitation rationnelle de ces terres, soit par des cultures annuelles (céréales) ou permanentes (plantations des arbres fruitiers). Cette dernière a un double rôle, d'une part protéger le sol contre l'érosion, et d'autre part,

participer dans le développement de la zone (création d'une revenue complémentaire aux populations pastorales).

- ☒ Protection de ces terres agricoles contre l'érosion hydrique par la réalisation des banquettes en pierres sèches et de les cultiver (labourées,..) dans le sens des courbes de niveau, pour entraver la vitesse d'écoulement et de capter les sédiments transportés par l'eau afin d'arriver à la retenue.
- ☒ Etendre la surface agricole irriguée dans le but de ne pas la laisser nue et en même temps d'assurer une gestion rationnelle des ressources hydriques.
- ☒ L'organisation des ouvrages de pâturage extensifs qui conduisent au défrichement et à la dégradation du couvert végétal dans la zone, par l'intensification des cultures fourragères.

### **Conclusion :**

En appliquant ses méthodes de traitement et d'aménagement du bassin versant proposées, on arrive à la protection des sols du milieu contre l'érosion hydrique, d'une part, et d'autre part, on assure une durée de vie assez longue pour le barrage de la vallée d'Oued el Arab afin d'atteindre cet objectif et arriver à résoudre le problème de manque des eaux dans le pays, et plus spécifiquement à cette région.

## CONCLUSION GENERALE:

Le travail élaboré dans le cadre de ce mémoire nous permet d'une part, de mettre en évidence les principaux facteurs qui interviennent dans l'érodibilité des sols dans le bassin versant d'Oued El -Arab, et d'autre part, de montrer l'impact sur la pérennité des ouvrages hydriques comme par exemple les barrages.

L'étude entamée à cet effet est basée sur une approche appuyée sur la connaissance du site utilisant le traitement des données du milieu physique par lequel on est arrivé à apercevoir que le bassin d'étude a :

- un caractère orographique fort avec  $IG=28,97\text{m/km}$ ,  $Ds=689,82\text{m}$ .
- une formation lithologique vulnérable, telle que les formations quaternaires et les marnes.
- un couvert végétal faible s'étalant d'une manière ponctuelle et n'occupe que 8% de l'espace.
- une perméabilité moyenne à élevée sur la surface totale.
- un aspect morphométrie qui favorise la concentration des ruissellement ( $k_c=1,12$ ).
- de faibles quantités de précipitation (300 mm/an en moyenne)

La partie suivante concerne l'analyse statistique des données de précipitation qui sont malheureusement incomplètes ce qui a dicté la démarche de la régression linéaire et le double cumules qui permettent de combler les lacunes des séries de mesures.

Les résultats confirment que le choix de la station de base est judicieux et les paramètres sont proches à la réalité des stations.

Ensuite on a élaboré un modèle statistique qui établit la relation des quantités solides transportées vers le barrage où, on a trouvé un taux d'abrasion annuel estimé de (175,5t/km<sup>2</sup>/an), Ainsi qu'une approche cartographique sur la sensibilité du terrain à l'érosion.

De cette base on a déduit une carte d'érosion dont laquelle on a fait ressortir les terrains les plus sensibles à l'érosion hydrique qui nous mène à intervenir par un plan d'aménagement sur le bassin dans le but de la protection de ses terres contre l'érodibilité.

Pour rendre plus efficace cette protection, nous suggérons un reboisement des zones à fortes pentes, faire des corrections des sens de ravinements, ...etc, sans oublier le rôle anthropique selon l'exploitation rationnelle de ces terres.

## BIBLIOGRAPHIE

- ANRH (Agence National des Ressources Hydrique)., Acte sur l'érosion des sols et l'envasement des Barrages1991.
- ANRH., données pluviométriques 71/2004.
- ACHAF G et el., 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, 2005.
- BERKANI Z., et el, 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, 2004.
- BNEDER., Plan directeur d'aménagement de la wilaya de Khenchela, 1992.
- DRIDI.H, KALLA. M., Cours de Géologie Générale, -Géodynamique externe-, O.P.U. 1, place centrale de Ben-Aknoun, Alger.
- DAOUDI M et el., 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, 1995.
- DUMAS., Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cahiers O.R.S.T.O.M, série pédologie 2965.
- FRANCIOS TOMAS., Annaba et Sa Région, Organisation de L'espace dans l'extrémité Est Algérien, 1977.
- FOURNIER F., Climat et érosion P.U.F, Paris, 1960.
- GRECO J., L'érosion la défense et la restauration des sols -le reboisement en Algérie, M.A.R.A, Alger 1966.
- GRECO J., la défense des sols contre L'érosion I.S.B.N Paris 1978.
- GEODOROFF A., Mécanisme de l'érosion par la pluie, revue de géographie et de géologie dynamique, fascal 2, Paris 1965.
- GUILLEOT.J., Eléments de géologie, E N S P M, Edition TECHNIP, Paris1977.
- HALIMI A, L'Atlas Bledien, climats et étages végétaux O.P.U, Alger1980.
- Impact du Plan National de Développement Agricole Sur le Développement de la wilaya de Khenchela, 2002.
- LAMBERT R., Géographie de cycle de l'eau, fasc 2, le bassin versant

- Ministère de l'agriculture., Technique des Barrages en aménagement rural. 1979.
- Ministère de l'agriculture., Notice bibliographique sur quelques plantes fourragères et pastorales, H.C.D.S, B.P, Djelfa, Algérie.
- MEGHNI A., Etude comparative du barrage de Koudiet M'Douar, Mémoire d'ingénieur d'Etat en hydraulique Université de Batna, 2001.
- Marc C., Mutations rurales en Algérie, le cas des hautes plaines de l'est, 2<sup>e</sup> édition, 1981.
- METREVELI.V., Hydrogéologie et phénomène de transport, recueil de problèmes avec corrigés, O.P.U. 1, place centrale de Ben –Aknoun -Alger.
- Ministère des finances., Monographie de la wilaya de Khenchela, D.P.A.T de la wilaya, Février 2001.
- ROCHE M., Hydrologie et aménagement des eaux O.R.S.T.O.M ser, Hydraulique n°1, 1973.
- REMINI B., Envasement des Barrages, O.P.U. de Blida.1996.
- STEIN B.J., La géographie dynamique applicable a l'aménagement, boulevard saint germain, Paris v<sup>e</sup>, France 1988.
- RERBOUDJ Ab-M., 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,2005.
- SUNDBORG A., Problème d'érosion, transport solide et sédimentations dans les bassins versants, 1986.
- SEIGUE A., La foret circumméditerranéenne et ses problèmes, édition mais on neuve, paris 1985.
- SARI A., Initiation à L'hydrologie de Surface, cours édition- distribution houma, 2002.
- SAHRAOUI Ab et el., 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,2005.
- VIERS G., Eléments de climatologie, paris, 1982.
- VILA J.M., La chaîne alpine d'algie orientale et ses confins Algéros- Tunisiens, paris , Pierre et Marie Curie, 1980.

- ZEROUAL Y et el., Etude physique du bassin versant de Babar Et propositions d'Aménagement et de lutte contre l'envasement de ce Barrage Mémoire d'ingénieur d'Etat en Aménagement du milieu physique, Université de Batna, 2005.
- ZEBIRI A., Etude du fonctionnement fluviale et risque d'Inondation dans le Rhummel Boumerzoug, Amont et Avale de Constantine; Mémoire de magister, en Aménagement du territoire Université de Constantine, 2001.
- Carte topographique 1/200000, de la wilaya de Khenchela 1969.
- Carte d'occupation des sols de la wilaya de Khenchela 1/200000, Monographie de Khenchela. 1998.
- Esquisse Géologique des Aurès (la fitte) 1/200000, 1939.

- كعبي خليل، أخطار الانجراف وسبل حماية الأوساط الطبيعية، دراسة حالة حوض وادي بن هارون، مذكرة ماجيستر في التهيئة الإقليمية، جامعة قسنطينة 2002.
- عناب رضا، تقدير خطر التعرية في حوض تيمقاد وأثرها على سد كدية مداور- مقارنة المعايير، مذكرة ماجيستر في ديناميكية الأوساط الفيزيائية و الأخطار الطبيعية، جامعة باتنة 2006.
- بله نسيم، قابلية الجريان في حوض مدينة باتنة و إشكالية الفيضانات، مذكرة ماجيستر في ديناميكية الأوساط الفيزيائية و الأخطار الطبيعية، جامعة باتنة 2006.

## **Résumé:**

L'étude, 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 pré question est exposé à une érosion importante engendrant un apport solide par fois considérable 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, la correction des ravins et des techniques de lutte anti-érosives appropriées : techniques agricoles, labours,...etc.

## **Mots clés:**

Bassin versant, Oued El-Arab (babar, kenchela), Erodibilité, Apports solides, Impacts, Envasement, Barrage.

: \_\_\_\_\_

:

...

( )

... ..

:

: \_\_\_\_\_

( بآبار - )