

RÉPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ COLONEL EL HADJ LAKHDAR - BATNA
FACULTÉ DES SCIENCES
DÉPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

Mémoire

En vue d'obtenir le diplôme de Magister

Spécialité : *Dynamique Des Milieux Physiques Et Risques Naturels*

THEME

**ESSAI DE QUANTIFICATION DE L'ÉROSION ET PERSPECTIVE
DE LA PROTECTION DU BARRAGE DE FONTAINE DES
GAZELLES CONTRE L'ENVASEMENT
(APPROCHE NUMÉRIQUE)**

Présenté par :

RERBOUDJ Abdel Malek

Membres du jury

Titre	Nom et Prénom	Grade scientifique	Université
Président	DRIDI Hadda	Maître de conférence	Batna
Promoteur	KALLA Mehdi	Maître de conférence	Batna
Examineur	AMIRECH Hamza	Maître de conférence	Constantine
Examineur	YAHIAOUI A. Ouehab	Chargé de cours	Batna

Promotion : 2004 – 2005

REMERCIEMENT

En premier lieu je tien a remercier le dieu qui ma donner le courage pour compléter ce modeste travail.

Je voudrais tout d'abord remercier le directeur de mémoire Monsieur Kalla Mehdi ; le maître de conférence à l'université de Batna, pour ces conseils, ces orientations et leur soutien scientifique pendant la réalisation de ce travail.

C'est un grand plaisir de pouvoir exprimer ma profonde gratitude à Madame Kalla.Dridi.Hadda, maître de conférence à l'université de Batna et chargée de post-graduation, pour l'honneur qu'elle me fait de présider mon jury.

J'adresse également mes vifs remerciements Monsieur Yahiaoui Abdelouhab, maître de conférence à l'université de Batna, notre enseignant en post-graduation, d'avoir accepter d'être membre de jury.

J'aimerais aussi remercier notre enseignant en graduation le maître de conférence à l'université de Constantine Monsieur Amirech Hamza ; d'avoir accepter d'être membre de jury, pour valoriser mon travail.

Je tien a remercier infiniment toute les services qui ma aide pour réaliser ce travail :

Les forêts de Batna et Biskra.

Direction des Services Agricoles de Batna et Biskra.

Agence National des Ressources Hydrologique de Batna, Biskra et Alger.

Les gestionnaires du Barrage de Fontaine des gazelles.

Je tien a remercier aussi mes amis et mes collègues de la promotion.

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE.....	1
----------------------------	---

Chapitre I : Les facteurs du milieu physique

Introduction.....	5
I- LA TOPOGRAPHIE	7
1- LE RELIEF	7
2- Les PENTES	7
II- GEOLOGIE	10
1. Domaine morpho-structurale	10
1-1. Les synclinaux	10
1-1-1. synclinale BATNA – AIN TOUTA	10
1-1-2. Synclinale d'EL-KANTARA	10
1-2. Les anticlinaux	12
1-2-1. Dj.Tuggurt (Monts de BELLEZMA)	12
1-2-2.Le Metlili	12
1-2-3. Dj.Ich Ali	12
1-3. Les Accidents Tectonique (failles)	12
1-3-1. accident NW-SE Metlili Ouest	12
1-3-2. accidents NW-SE Metlili EST	12
1-3-3. Accident NE-SW SOUK-AHRAS-BATNA	12
1-3-4. Accident E-W	12
1-3-5. Accident Axial du Bellzma (Direction variable) ENE-WEW à E-W	14
2. Analyse Litho-stratigrphique et Perméabilité	14
2-1. La stratigraphie	14
2-2. La lithologie	15
2-3. La perméabilité	17
III. LA MORPHOMETRIE	19
1- Indice de compacité de Graveluis	19
2- Hypsométrie	19
3- Le rectangle équivalent	21
4- Les indices de pente	21
A. indice de ROCHE	21
B. Indice de pente globale Ig	21
C. Dénivelé spécifique DS	21
D. Coefficient orographique Co	22
5- Le réseau hydrographique	22
a- La densité de drainage Dd	22
b- Le Talweg principale.....	24
6- Le temps de concentration Tc	25
IV. SOLS ET OCCUPATION DES SOLS	25
1-LE SOL	25
2- L'occupation des sols	28
Conclusion	32

Chapitre II : les flux climatique

Introduction	33
I- LES PRECIPITATION ET LEUR VARIABILITE	33
A. Critique et homogénéisation des données pluviométriques	33
1. Equipements du Bassin Versant	33
2. Contrôle de la fiabilité de la série d'observation	33
3. Le comblement des lacunes	35
B. Précipitations annuelles et leur irrégularité	36
1- Relation précipitation – Altitude	38
2- La lame d'eau précipitée	39
2.1. Méthode des isohyètes	39
2.2. Méthode de variation altimétrique	39
C. Précipitation mensuelle et le régime saisonnier	42
II. LES TEMPERATURES ET LEUR REGIME THERMIQUES.....	44
III. REGIME CLIMATIQUE	45
1. Indice de DEMARTONNE 1923	45
2. Climagramme d'Emberger	47
3. Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN et BAGNOLS.....	48
IV. L'EVAPOTRANSPIRATION	50
1-Le calcul de ETP	50
a. la formule de THORNETHWAITE	50
b. la formule de SERRA	51
2. Le calcul de ETR	52
a. Formule de TURC	52
b. Méthode thornethwaite	52
VI. RUISSELLEMENT	54
- Méthode de TIXERONT-BERKALOUF.....	54
VII. BILAN HYDROLOGIQUE	55
Conclusion	56

Chapitre III : Etude hydrologique

Introduction	57
1. Contrôle et comblement des lacunes	57
2. L'irrégularité interannuelle	59
3. L'irrégularité intermensuelle et régime saisonnière.....	60
3-1- Variations intermensuelle des débits	60
3-2- Le coefficient mensuelle des débits CMD	61
3-3- Le régime saisonnière des écoulements.....	61
4. Etude des débits maximaux instantanés	62
4-1- Ajustement des débits max instantanés	62
4-2- Intervalle de confiance	64
4-3- Hydrogramme de Crue	66
5. Evaluation de la lame d'eau écoulée	67
5. 1. Formule de SAMIE	68
5. 2. Formule dite ALGERIENNE	68
5. 3. formule de Sogreah.....	68
5. 4. Formule de COUTAGNE	68
5. 5. Formule CHAUMONT	68
6. Evaluation de l'apport liquide	69
7-Utilisation des données hydrologique du Barrage	69

Conclusion	71
------------------	----

Chapitre IV : L'action anthropique

Introduction	72
I. APERÇUS SOCIO-ECONOMIQUE	72
a- Les habitats	72
b- Les activités économiques	72
II. L'IMPACT	73
1. Le surpâturage	73
2- Défrichement de la forêt	74
3-Effet des carrières et la cimenterie de Ain Touta	74
4- Les décharges solides dans les ravins.....	74
5- Les incendies	74
6- Les travaux de la lutte contre l'érosion	76
III. LES FORMES D'EROSION	76
1-l'érosion en nappe	76
2-L'érosion linière	76
3-L'érosion par mouvement de masse:.....	76
3-1- Mouvement humide.....	77
3-2- Mouvements à sec.....	77
Conclusion	79

Chapitre V : La quantification de l'érosion

Introduction	80
I. UTILISATION DES DONNEES DE L'ENVASEMENT	80
II. METHODE D'EVALUATION DE L'EROSION.....	81
1. L'équation universelle de la perte de sol (U S L E)	81
1.1-Présentation du modèle de USLE	81
1.2-Méthode d'application	82
2. Délimitation des caractéristiques des zones homogènes	82
3. Les paramètres de la formule de USLE	85
1)- Le facteur « R » agressivité des pluies	85
a- Dans la présence d'un pluviographe	85
b-En l'absence d'un pluviographe	88
2) Le facteur d'érodibilité des sols « K ».....	88
3) Le facteur topographique « SL »	89
4) L'indice cultural (C)	90
5) Facteur de conservation des sols (P)	91
4. APPLICATION	91
- Autre Indices d'érosivité de climats	93
1) indices de Fournier	93
2) indice Fournier-Arnoldus	93
- Evaluation de risque d'érosion	100
III - L'estimation de l'érosion avec les formules empiriques.....	103
1- Formule de Tixeront	103

2- Formule de Sogréah	104
3- Formule de Fournier	104
4- formule de gavrilovic.....	105
5. Formule de ANRH	105
Conclusion	108

Chapitre VI : Plan de protection du Barrage de Fontaine des gazelles contre l'envasement

Introduction	109
I- INTERVENTION RAPIDE	109
1) Fosse de sédimentation	109
2) L'aménagement de la partie AVAL	109
2.1. Les murettes	109
2.2. Les banquettes	110
2.3. La correction torrentiel	114
2.4. La lutte contre la sapement des berges	116
2.5. La protection de la cuvette du Barrage	117
3) Une gestion optimale du barrage	117
II. INTERVENTION DE MOYEN TERME	118
1) Pour la plaine de AIN TOUTA	118
2) L'entretien et la maintenance des anciens ouvrages	119
3) Le reboisement	119
4) Amélioration de pâturage	120
III. PROPOSITION A LONG TERME	121
IV. PROPOSITION SCIENTIFIQUE	121
Conclusion	124
CONCLUSION GENERALE	125
BIBLIOGRAPHIE	
ANNEX	

Table des tableaux

Tableau N°01: Répartition Des Classes De Pentas.....	7
Tableau N°02: La Résistance Des Formations à L'érosion.....	17
Tableau N°03: La Perméabilité Des Formations De La Zone d'étude.....	18
Tableau N° 04: La Densité De Drainage	24
Tableau N°05: Récapitulation Des Caractéristiques morphométrie	26
Tableau N°06 : La répartition des terres.....	28
Tableau 07: données d'observation et séries chronologiques des stations climatiques.....	34
Tableau 08 : paramètre de corrélation comblement des lacunes.....	35
Tableau N°09: Les Années humides et sèches des stations.....	37
Tableau N°10 : Le Gradient pluviométrique.....	38
Tableau N°11: Evaluation de la lame d'eau précipite sur le bassin versant de O.EL HAI (1969-1989).....	39
Tableau N°12: Evaluation de la lame d'eau précipité par Méthode Altimétrique du sous bassin Aval El-kantara.....	41
Tableau N°13: Résultats des méthodes d'évaluation de la lame d'eau précipite de différent période.....	41
Tableau N°14: Répartition mensuelle des précipitations du sous bassin Amont.....	42
Tableau N°15:Précipitations saisonnières du B.V de oued El-Hai (74-2004).....	43
Tableau N°16: Gradient thermique du B.V de Oued El-Hai.....	44
Tableau N°17 : Variation des températures dans le B.V de O. El-Hai	45
Tableau N°18: Q Emberger	47
Tableau N°19 : Précipitation et la température de B.V de O. El-Hai	48
Tableau N°20: Evapotranspiration potentielle des sous bassins de Oued Elhai (Méthode de Thornetwaite).....	50
Tableau N°21 : ETP par la méthode de SERRA.....	51
Tableau N°22: ETR annuelle avec la méthode de TURC	52
Tableau N°23: Méthode de Thornethwaite sous bassin Amont.....	53
Tableau N°24: Méthode de Thornethwaite sous bassin Aval.....	53
Tableau N°25: Ruissellement	54
Tableau N°26: L'irrégularité interannuelles des débits de la Station El-Kantara (68-91).....	59
Tableau N°27: Variation intermensuelle des débits.....	60
Tableau N°28: Coefficient mensuelle des débits (68-91).....	61
Tableau N°29: L'écoulement saisonnier.....	61
Tableau N°30: Ajustement avec la loi de FRECHET.....	63
Tableau N°31: Débit max instantané de différente fréquence.....	64
Tableau N°32: L'intervalle de confiance IC95%.....	65
Tableau N°33: Hydrogramme de crue de 02/09/1979.....	67
Tableau n°34: Récapitulatif de Le et Q du bassin versant de O El-Hai	69
Tableau N°35: La population du Bassin versant de Oued El-Hai	72
Tableau N°36: Les Activités de population du Bassin versant de Oued El-Hai	73
Tableau N°37: L'élevage dans le bassin versant de O. El-Hai.....	73
Tableau N°38: Dégradation spécifique du Bassin versant de	

O.El-Hai (2000-2004).....	80
Tableau N°39: Caractéristique des zones homogènes du bassin versant de O. El-Hai	87
Tableau N°40: Le Facteur b de la structure.....	89
Tableau N°41: Le Facteur C de la perméabilité.....	89
Tableau N° 42:Indice d'agressivité climatique de WISCHMEIER (74/2004).....	93
Tableau N°43: Indices d'érosivité des stations d'observation	93
Tableau 44 : coefficient de corrélation entre les indices climatiques les pluies et les altitudes.....	93
Tableau 45 : Indice d'érodibilité de Wischmeier pour les sols du B.V.....	99
Tableau N°46 : La perte de sol par zones du bassin versant de O. El-Hai.....	101
Tableaux 47: Récapitulation de la dégradation dans le B.V de O. El-Hai.....	106
Tableau N° 48: Caractéristique des murettes des zones III et IV	110
Tableau N°49 : Les Caractéristiques de réseau des banquettes selon Saccardy	111
Tableau N°50: Les caractéristiques des banquettes du B.V de O. El-Hai	112
Tableau N°51: La correction torrentiel des affluents du S.B. Aval.....	115

Table des figures

Fig N°01: carte de la localisation	06
Fig N°02: carte topographique	08
Fig N°03: Les coupes topographiques	09
Fig N°04: carte des pentes	11
Fig N° 05 ,06: les coupes géologiques.....	13
Fig N°07: carte lithologique	16
Fig N°08: La courbe hypsométrique.....	20
Fig N°09: carte de densité de drainage	23
Fig.N°10: profil topographique du Talweg principale.....	24
Fig. N°11: carte pédologique	27
Fig. N°12: carte d'occupation des sols.....	29
Fig N°13: Méthode des doubles cumuls.....	34
Fig N°14: Méthode des doubles cumuls.....	35
Fig N°15: Corrélation et régression linéaire	35
Fig N°16: Précipitation interannuelle.....	36
Fig N°17: Le gradient pluviométrique.....	38
Fig N°18:carte pluviométrique.....	40
Fig N°19: Précipitations mensuelle.....	42
Fig N°20: Précipitations saisonnières.....	43
Fig N° 21: Variations des températures mensuelles du Bassin versant Oued ELHAI.....	46
Fig N°22: Climagramme d'Emberger.....	48
Fig N°23: Diagramme Ombrothèrmique de Gaussen et Bagnols.....	49

Fig N°24 et N°25: Méthode des doubles cumules	58
Fig N°26: Corrélacion et régression linéaire.....	58
Fig N°27: Coefficient de hydraulicité.....	60
Fig N°28: Coefficient mensuelle des débits CMD.....	61
Fig N°29: Ajustement avec la loi de FRECHET	63
Fig N°30: L'intervalle de confiance	65
Fig N°31: L'hydrogramme de crue.....	67
Fig N°32: Carte d'erosabilité	83
Fig N°33: Carte de l'état d'érosion linéaire	84
FigN°34: carte des zones homogènes du bassin versant de Oued EL HAI.....	86
Fig N°35: Normogramme de Wischmeier (système métrique)	90
Fig N°36: La relation $R = f(Pan)$	94
Fig N°37: La relation $R = f(H)$	94
Fig N°38:carte des isoérosivités (indice de Wischmeier.....	96
Fig N°39: carte des isoérosivités (indice de Fournier.....	97
Fig N°40: carte des isoérosivités (indice de Fournier-Arlondus.....	98
Fig N°41: Triangle texturale.....	99
Fig N°42: carte d'érosion	102
Fig N°43: Types de banquettes.....	113
Fig N°44: Méthode de construction des seuils pour abaisse les pentes des versants (D.Soltner, 1989).....	114
Fig N°45: Principe de la correction d'un torrent.....	115
Fig N°46: Protection des rives concaves avec des épis(brisé le courant d'eau).....	116
Fig N°47 : Méthode de chasse des sédiments par le vidange de fond.....	117
Fig N°48: Banquettes des zones périphériques de la plaine de Ain Touta.....	119
Fig N°49: Protection des versants contre l'érosion en nappe avec les plantes et praires(D.Soltner, 1989).....	120
Fig N°50: Plan de protection du Barrage de Fontaine des gazelles contre l'envasement.....	122

Table des planches

Planche 1: formations quaternaires.....	18
Planche 2 : le couvert végétale.....	31
Planche 3 : actions anthropiques.....	75
Planche 4 : mouvement à sec sur les bordures de Oued El-Hai.....	78
Planche 5 : formes d'érosion linéaire.....	78

INTRODUCTION GENERALE :

Le phénomène d'érosion est un champ d'étude qui a intéressé de nombreux chercheurs depuis long-temps ; mais les résultats restent toujours liés à plus de précisions car ce phénomène est très complexe.

En raison de leur importance en terme de développement durable en Algérie, des efforts ont été orientés vers ce sujet; mais ils restent insuffisant par rapports a l'étendue du territoire et la diversité des phénomènes d'érosion. L'érosion en nappe est un des types des risques qui touchent profondément la partie nord du pays.

En effet ce risque à des conséquences directes sur la perte des terres arables et le remplissage des ouvrages hydraulique en sédiments; donc la diminution de la capacité d'emmagasinement des barrages réservoirs ; d'après le levé de 1986/87, la perte de capacité sur les 28 barrages en exploitations s'élevé à $388,26\text{hm}^3$; soit 13,2%.

En 1994, sur les 40 barrages mis en exploitation, la perte de capacité à été estimée à $480,20\text{hm}^3$ ⁽¹⁾. Les études montrent un envasement moyen de (0,1 à 4%) par an des barrages de l'Algérie⁽²⁾, avec un cumul de sédiments évalué à 600.10^6m^3 se trouvant dans les retenues de 98 barrages selon les estimations de 1998.

On peut constater que certains barrages ont été complètement abandonnés tels que ceux de SIG, FERGOUG II et CHEURFAS I, d'autres donnent des inquiétudes tels que ceux de OUED EL FODDA, GHRIB et FOUM EL GHERZA et finiront sans doute dans l'abandon, si des solutions ne sont pas prises à court terme.

Plusieurs procédés de lutte ont été utilisés en matière de lutte contre l'envasement ; des reboisements des bassins versants, à la surélévation des digues; tel que celui de HAMIZ, K'SOB, et ZARDEZAS, la construction des barrages de décantation comme celui de BOUGHEZOUL à l'amont du barrage

⁽¹⁾ Journées techniques sur les barrages, Mars 1999

⁽²⁾ Nemouchi.A.1998

de GHRIB, l'utilisation du barrage à onde de chasses (BOUHANIFIA à l'amont de FERGOUG), le dragage des barrages; le cas de CHEURFAS I durant la période 1959-1962 et HAMIZ entre 1969-1972. La plus part de ces solutions restent poliatives.

A ce titre, la quantification de l'érosion devient une nécessité absolue et appelle une densification des études. Le bassin versant de OUED EL-HAI équipé récemment à l'exutoire d'un barrage qui à été mis en service en 2000; est un exemple à prendre en charge. En effet nous envisageons d'évaluer l'érosion par les méthodes quantitatives; de déterminer des zones de sensibilité à l'érosion ; de réaliser afin un plan de protection du barrage contre le risque d'envasement.

Le choix du thème :

Le choix du thème n'a pas été pris au hasard, mais il a été guidé d'une part par l'importance que revêt l'érosion et l'envasement en terme de risque et d'autre par le programme de recherche du Laboratoire LRNAT au sein du quel s'inscrit notre magister.

Ce thème associe en fait un aspect environnemental et socio-économique, l'un est lié au patrimoine naturel qui est le sol et dans la préservation se justifie à plus d'un titre et l'autre est associé à la ressource hydrique, un bien rare et précieux dont les besoins vont en agrandissant.

L'objectif de l'étude :

- identifier les principaux facteurs qui interviennent dans la dynamique des milieux.
- quantifier l'érosion et circonscrire les zones à risque.
- réaliser un plan de prévention et de protection du barrage «fontaine des gazelles» contre l'envasement.

Méthodologie de recherche :

La première étape est un survol et une analyse bibliographique de tout ce qui concerne le thème (livre, mémoire, revue, article, cartes,...ext.), concernant la zone d'étude. Les données ont été recueillies auprès des différents services (forêt, hydraulique, administration du barrage, ANRH, DSA,...), dans les deux wilaya Batna et Biskra.

La phase analytique est complétée par les sorties de terrain et les moyens d'expression, on utilisant des méthodes statistiques, schématique et cartographiques.

En concluant par une phase synthétique qui regroupe les résultats finaux.

Les contraintes :

A travers de cette étude, nous avons été confrontés à un déficit critique de données concernant l'aspect climatique ; ainsi que le couvert végétal, ...etc. par ailleurs le problème sécuritaire a limité sensiblement nos mouvements sur terrain.

Plan de travail : pour une analyse précise et un diagnostic efficace de cette problématique; nous avons réalisé un plan de travail reparti en six chapitres.

Chapitre I : composantes stables du milieu physique :

La dynamique érosive est régie en partie par l'aspect du milieu physique à savoir les composantes stables du milieu et leur articulation dans l'espace, Il s'agit en l'occurrence de la topographie avec ses altitudes et ses jeux de pente, des données géologiques du substratum, des formations superficielles et leur caractéristiques minéralogiques et texturales,...ex. enfin d'un facteur pseudo- stable qu'est le couvert végétal.

Chapitre II : Les flux climatiques :

Ce chapitre contient Les éléments climatiques qui provoque l'accélération du régime d'érosion ; notamment les précipitations et les températures ; et sont variabilités spatiotemporelles.

Chapitre III : le facteur hydrologique :

Ce chapitre s'intéresse aux apports hydriques sous toutes leur formes :

- Etude hydrologique de sous bassin amont dont une grande partie touche les variations des écoulements et l'étude des crues.
- évaluation de la lame d'eau écoulée par des formules empiriques et le bilan hydrologique du barrage.

Chapitre IV : Action Anthropique

Ce chapitre relate la socialisation des milieux à savoir les interventions de l'être humain et les différentes formes d'érosions, qui en découlent.

Chapitre V : Quantification de l'érosion

Nous avons essayer d'appliquer le modèle de Wischmeier et Smith par le principe d'extrapolation qui rejoint les différents facteurs de ce modèle, afin d'estimer la dégradation pour chaque zone représentée cartographiquement, une corrélation a été effectuée avec d'autres formules (fournier, texiront, ...).

Chapitre VI : Plan de protection

Partant de la carte de dégradation; nous avons classé les zones selon la priorité de l'intervention et la mise en place d'un plan de protection du barrage contre le risque d'envasement, en prenant considération le développement agricole de la région.

Chapitre I
Les composantes stables
du milieu physique

Introduction :

Un diagnostique des problèmes d'érosion exige une compréhension précise du fonctionnement de l'ensemble des facteurs qui constituent le géosystème en tant que vision globale du milieu physique.

Alors, il est nécessaire de distinguer tout d'abord les éléments constants (qui ne changent pas ou très peu) du milieu naturel favorisant le déclenchement des processus de l'érosion dans la zone étudiée.

Localisation de la zone d'étude :

Le bassin versant de Oued El-Hai se situe dans le piedmont Sud des Aurès; il fait partie du grand bassin hydrographique de CHOTT MELGHIR ; il est limité au Nord par le bassin Versant des hauts plateaux constantinois ; à l'Est par le bassin versant de OUED ABDI ; à l'ouest par le bassin versant de CHOTT EL-HODNA (Fig N° 01).

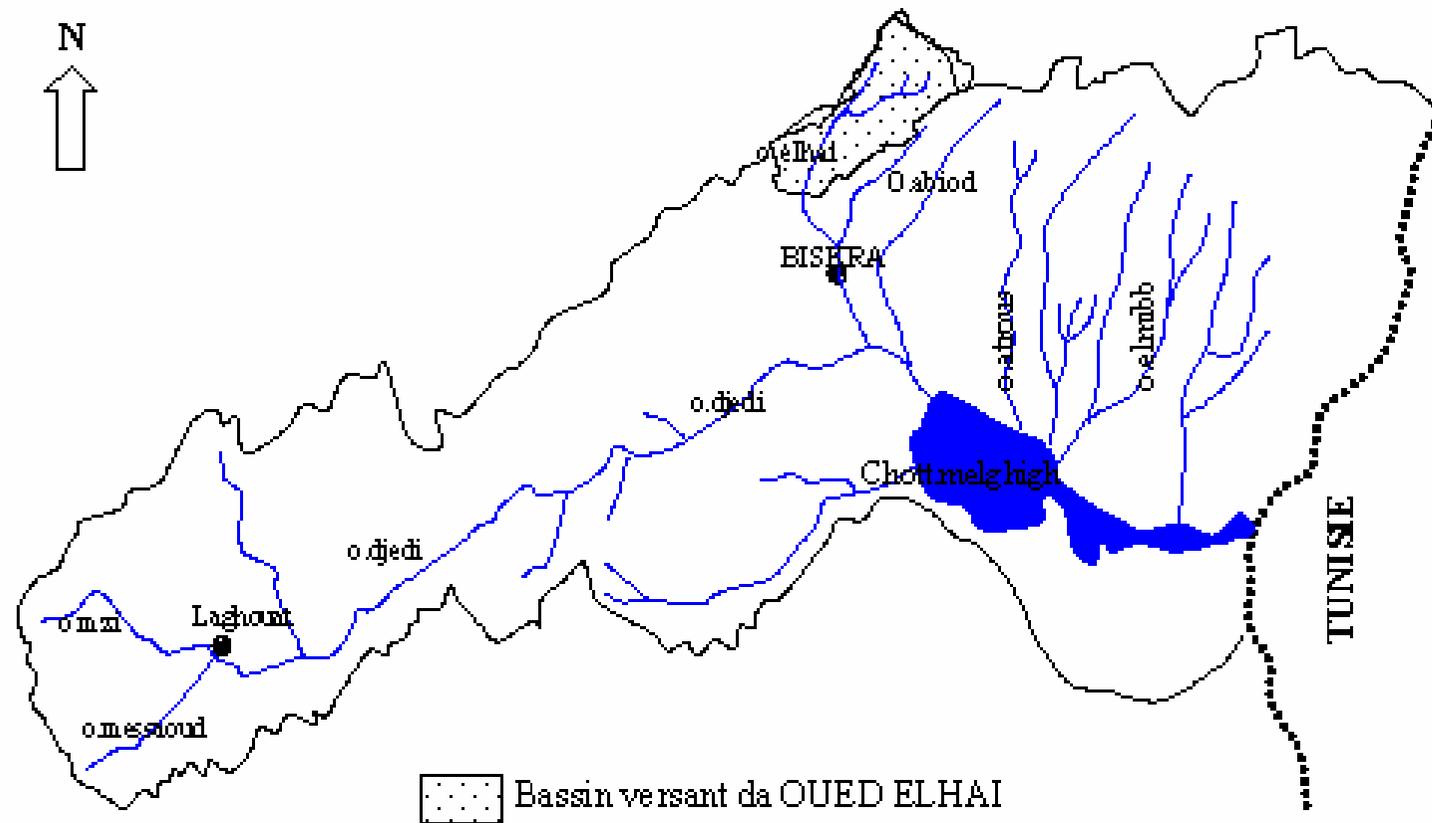
La limite de la zone d'étude par rapport aux coordonnées géographiques est donnée suivant la carte topographique de Batna et Barika à l'échelle, 1/200.000 :

Latitude : 35° 5" 53" et 35° 35' 21" NORD

Longitude : 5° 30' et 6° 17' 36" EST

Sur le plan administratif; il s'étale sur deux wilayas ; celle de Batna avec une superficie de 1314 Km² et celle de Biskra de l'ordre 346Km², où la superficie totale est environ de 1660 Km².

Fig^{N°} 1: Carte de localisation



Source : Annuaire hydrologique (ANRH ; 1992).

I- LA TOPOGRAPHIE:

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

1- LE RELIEF : l'examen de la carte topographique Fig N°02, fait apparaître les unités suivantes :

A- Les montagnes : caractérisées par un enchaînement des massifs; d'une orientation générale NE-SO, avec une décroissance d'altitude du nord vers le sud. On peut citer à titre d'exemple :

Les Monts de Belezma au nord ; dans les quelles l'altitude maximal atteint 2091 m. (Dj. Tuggurt).

Dans Les monts de Metlili le pique atteint 1496m à l'ouest.

Au sud Dj. Bous 1789m, à l'Est RAS ELKROUCH 1508m, Dj. El Malou 2091m et Dj. ELRherah 1865m.

B- Les piedmonts : constituent la plus grande partie de la zone d'étude, Sont en générale avec un profil irrégulier en particulier l'exposition Nord et Nord-ouest ; dans ces conditions on attendant une dynamique active.

C- Les plaines : deux plaines se distinguent; l'une entre Batna et Ain Touta avec environ 36 Km de longueur et une largeur variant entre 6 à 8Km, et l'autre au sud ; c'est la plaine entre El-kantara jusque au site du barrage «fontaine des gazelles » le long de oued El-Hai .Les coupes topographiques (fig N°03).

2- Les PENTES : Le rôle de la pente est net dans tous les mécanismes d'érosion ; 93,8 T/Km²/an sur pente forte contre 18,7 T/Km²/an sur pente faible selon Alain Marre. Ainsi que Hudson (1971) a trouvé que la perte de sol (E) augmente plus vite que l'inclinaison de la pente (S) selon la relation :

$$E = S^a \quad \text{où : } 1,3 < a < 1,5$$

On prend la moyenne de l'intervalle $a = 1,4$.

A partir de la carte des pentes (Fig N°04), Nous avons extrait les classes des pentes et calculé la capacité érosive de la pente selon Hudson (1971); qui sont représentées dans le tableau N°01.

Tableau 01 : Répartition des classes des pentes.

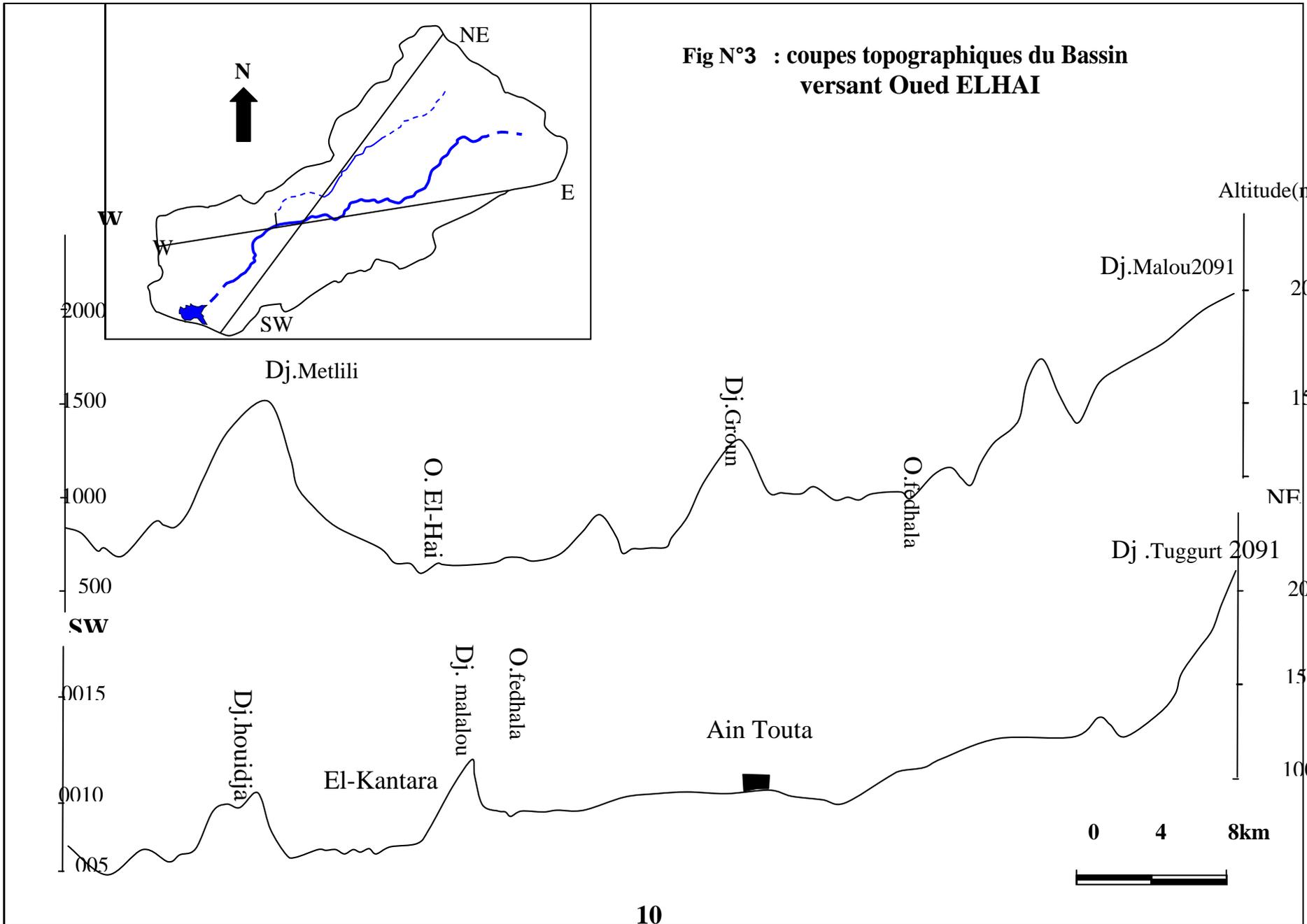
Classe de pente	Surface		S moy	S ^{1,4}
	Km ²	%		
0-3	334,80	20,17	1,5	1,76
4-12	378,40	22,79	8	18,38
12,5-20	810,80	48,84	16,25	47,57
20,5-25	136,0	8,12	22,75	79,39

Fig N° 2

CARTE TOPOGRAPHIQUE DE BASSIN VERSANT D'OUED EL-HAI



Source : les cartes topographiques qui couvre la region (1/200 000)



Les pentes faibles (0-3%) coïncident essentiellement avec les plaines et les terrasses fluviales ; occupant 20,17% de la superficie total du Bassin versant avec une capacité érosive de la pente moyenne est négligeable (1,76t/ha). Par contre les pentes moyennes au niveau des piedmonts avec une surface de 22,79% et une capacité érosive de la pente moyenne de la classe (4-12%) de l'ordre 18,38 t/ha.

La classe (12,5-20) de pente moyen à forte est la plus dominante avec un pourcentage de 48,84% de la superficie totale du bassin versant; dans la quelle l'indice érosif de la pente moyenne est de 47,57t/ha.

Les pentes les plus fortes s'étalent sur les crêtes des hautes altitudes avec des surfaces restreintes de 8,12% ; où la capacité érosive de la pente dépasse 79,39 t/ha.

Enfin, on peu dire que le bassin versant de Oued El-Hai est caractérisé par des pentes moyennes à fortes (71,63%), ce qui augmente la capacité érosive des pentes entre (18,38 à 47,57); sous cette condition , l'érosion peut être excessive.

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

II- GEOLOGIE :

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

1. Domaine morpho-structurale :

1-1. Les synclinaux : le bassin versant de Oued El-Hai rejoint deux synclinaux :

1-1-1. synclinale BATNA – AIN TOUTA : avec une direction NE-SW, est constituée essentiellement par des alluvions de quaternaire; avec des affleurements des marnes; qui sont surmontées par des assises détritiques continentales (conglomérat et grés).

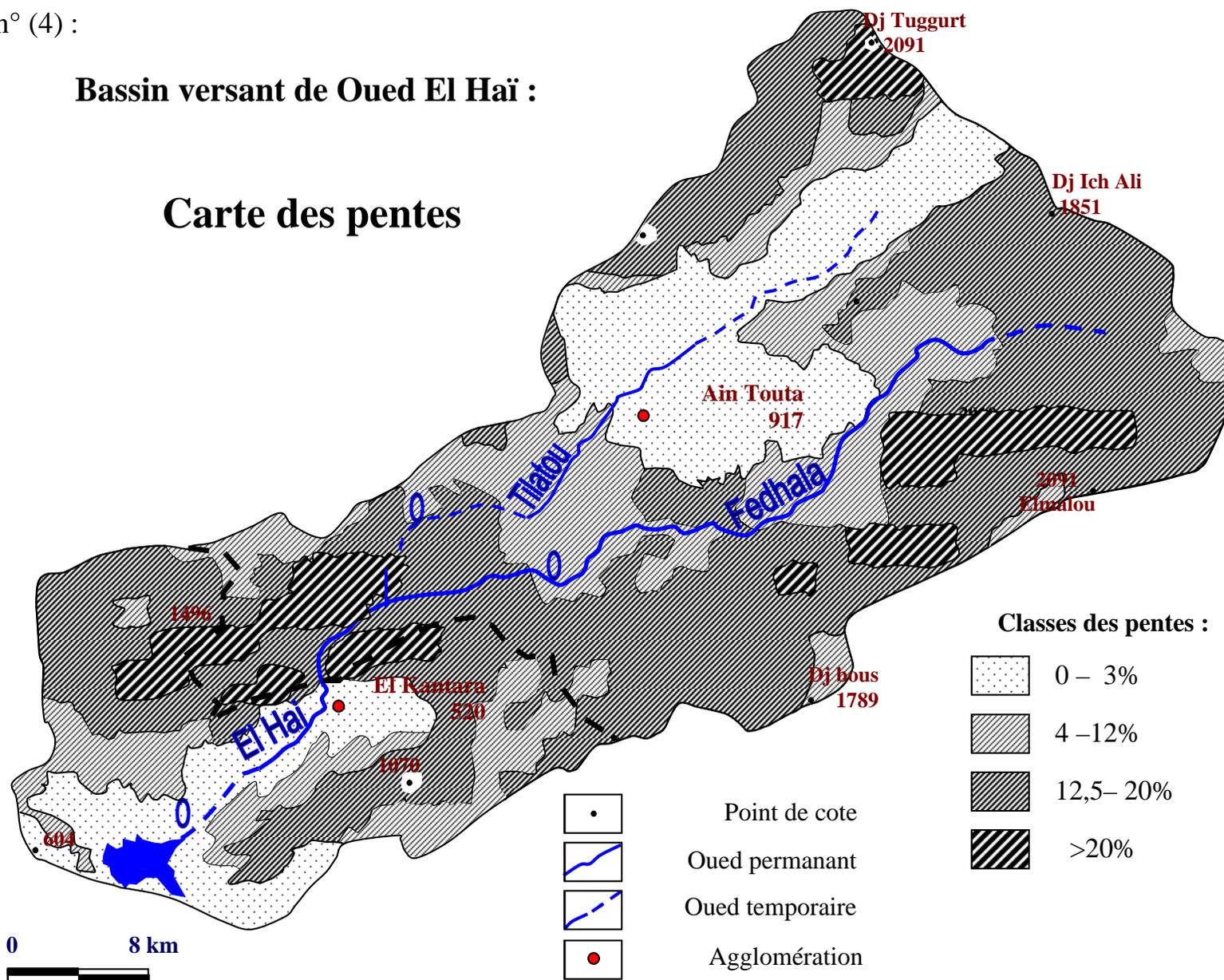
1-1-2. Synclinale d'EL-KANTARA : cité par R. Guiraud, 1973. Les calcaires massifs de demi cluse d'El-kantara reviennent au Maestrichtien avec un épaisseur de 340 mètre vers le Sud, surmonte par des formations de l'oligocène, miocène et quaternaire ; formées essentiellement par des marnes, galets, alluvions, argile et sables (fig N°06).

A la base du flanc sud de Dj. Mimoun, on observe un affleurement de paléocène représentant des faciès de marnes rouges (25m), grés et poudingues d'après J.L.Ballai.

Fig n° (4) :

Bassin versant de Oued El Haï :

Carte des pentes



Source : carte topographique 1/200000, Batna, Barika

1-2. Les anticlinaux : parmi les anticlinaux qui s'articulent autour du bassin versant, On peu citer :

1-2-1. Le Metlili : constitue un grand pli coffré à combe complexe décrite par : J. L. Ballais, prolongement sur 30 Km de long NE-SW et 9 Km de large (fig N°06).

Le crétacé (Albien, sénonien), est recouvert en discordance par des assises miocènes, une fracture directionnelle effondre la voûte anticlinale contre un flanc sud très redressé.

1-2-2. Dj. Tuggurt (Monts de Belezma) : (fig N°05) étudié par D. Bureau, 1972 : Ce massif d'environ 80 Km de long et largeur variable.

Le flanc sud, verticale à inverse, et plus redressé que le flanc Nord, à l'est de Oued Châaba le jurassique plus ou moins extrudé chevauche le crétacé inférieur et par fois même le miocène marin vers le Sud Est.

1-2-3. Dj. Ich Ali : correspond à un bombement d'assises céno-manoturonien avec un pendage généralement faible.

Le passage de cette structure au synclinal de Batna -Ain Touta, est souligné par une faille directionnelle NE d'Ain Touta, l'axe de cet anticlinal s'oriente vers l'Est.

1-3. Les Accidents Tectonique (failles) : Le bassin versant représente deux types de failles selon leur tendance et leur direction.

1-3-1. accident NW-SE Metlili Ouest: cette fracture qui barre la terminaison occidentale du Metlili réapparaît au NW de fontaine de gazelles entre ces deux points; elle n'est pas visible et se superposerait plus au moins à l'envoyage oriental du Mekrisane, anticlinal dont elle provoque la virgation vers les Sud-est et auquel fait suite à l'Est, le synclinal d'El-Kantara. Puis, décalé par une succession de cassures E-W (Bellion, 1972).

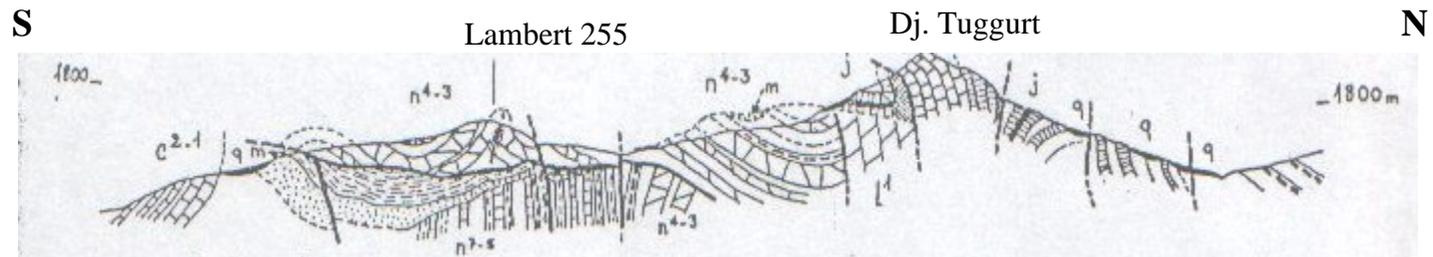
1-3-2. accidents NW-SE Metlili EST: La conséquence de cet accident est l'affleurement du trias de la région de Mâafa (Guiraud 1971 et Bellion 1972).

1-3-3. Accident NE-SW Souk-Ahras-Batna : Il à été mis en évidence par Glangeaud, 1951, il se manifeste par la faille qui met en contact le miocène et le turonien du flanc NORD du Dj.Ich Ali son prolongement vers le SW à provoqué l'effondrement de la voûte de l'anticlinal du Dj.Metlili.

1-3-4. Accident E-W : Se trouve dans plusieurs structures essentiellement :

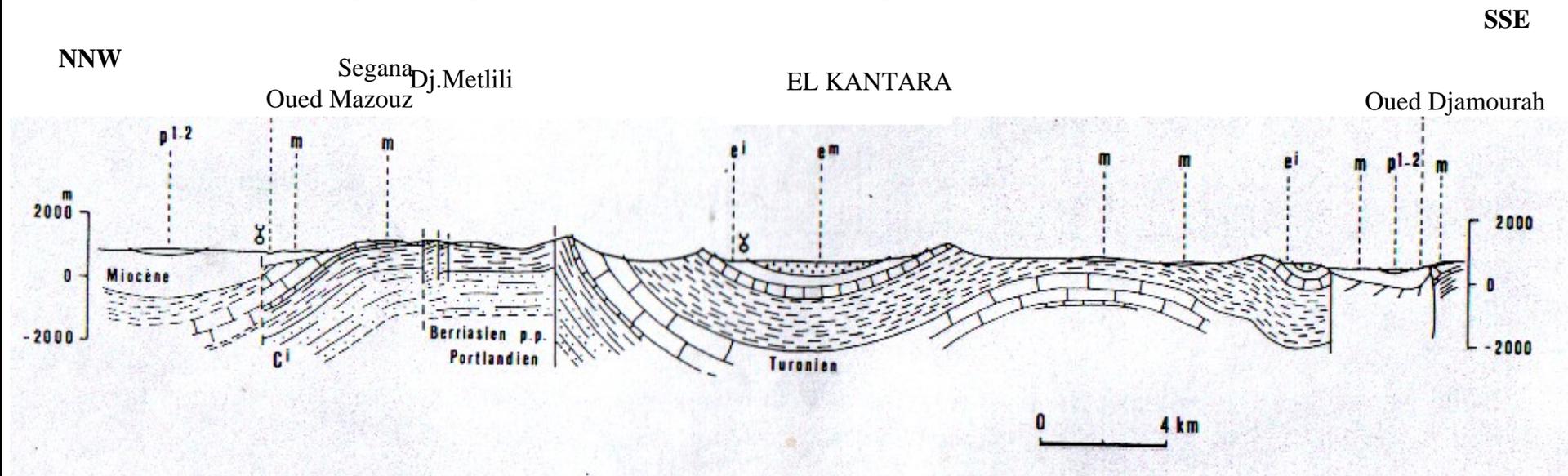
- faille de direction E-W limitant le céno-manien du turonien sur le flanc sud de l'anticlinal Ich Ali (Bureau 1986).

Fig N°5 : coupe de Djebel Tuggurt(D. Bureau, 1967.



Les zones laissées en blanc correspondent dans le crétacé à des marnes gréseuses

Fig 6 : coupe du val d'ELKANTARA (D'après R .Guiraud, 1973)



- Faille Arbâa- Mâafa la raisons par le quel le trias affleure.

1-3-5. Accident Axial du Belezma (direction variable) ENE-WEW à E-W :

La zone tectonique se prolonge vers le Nord-Est par la faille inverse du Dj.Tuggurt ; l'orientation varie de N65° - 70° E dans les monts de Batna, à N80° - 90° E selon Bellion, 1981.

2. Analyse Litho-stratigraphique et Perméabilité :

D'après l'inventaire dressé par R.laffit1939, la zone d'étude représentée par des faciès allant des terrains anciens jusque les plus récents, « Entre le trias et le quaternaire presque tout les échanges sont représentés » R.Laffitte, 1939.

2-1. La stratigraphie :

- **Trias :** l'affleurement du trias est formé de pointement diapiriques nombreux jalonnent les accidents tectoniques (para- autochtones), donc il est en position anormale.

Il affleure dans la région de Mâafa et les monts de Belezma, argiles violacées avec des masses dolomitiques de couverture dans les Aurès.

- **Jurassique :** qui se divise en :

Jurassique inférieur (Lias) : il est représenté par une épaisse série de calcaire et noduleuse et Marno-Calcaire, dolomies massives claires ou noires, qui atteignent environs 30 mètre dans Dj.Tuggurt.

Jurassique moyen (Dogger) : est une série d'alternance de dolomie de calcaire et de marne avec des gypses, le seul affleurement apparaît dans les monts de Belezma Dj.Tuggurt d'épaisseur 70 mètre.

Jurassique supérieur (Malm) : au Dj.Ketaf Deba au sud de Ain Touta, est constitué par une alternance des calcaires noduleux et des marnes avec un épaisseur de 15 mètre.

- **Crétacé :** Le crétacé était subdivisé par R. Laffite, 1939, comme si dessous :
Crétacé inférieur : il couvre une grande partie à D.j Tuggurt avec une épaisseur dépasse parfois 4000 mètre (par endroit) et peut être subdivise en quatre ensemble lithologique :

Un ensemble basal (1300m) Titanique sup-barriasien moyen; à dominance carbonatée avec des calcaires en bouc métrique.

Un ensemble inférieur (1000m) datée du barriasien sup-valanginien à dominance argileux.

Un ensemble médian (1400m) à dominance grés-dolomitique.

Un ensemble supérieur (700-750) à la base, c est des dolomies et une alternance des grés, calcaire, puis des grés à stratification obliques, marnes agresseurs, calcaire marneux et calcaire au sommet et attribue à l'aptien- albien.

Crétacé supérieur : il occupe une grande superficie à l'affleurement dans les monts de Belezma (Dj.Tuggurt) et dans les aures (Dj.Metlili).

- **Cénomaniens C⁵⁻⁴** : ce situe uniquement au Dj.Ich Ali, avec un épaisseur de 700 à 750 m par une alternance de Marne et de calcaire.

- **Turonien C₆** : sur le versant sud de Ich Ali dont le turonien prend un très grand développement et devient particulièrement épais (60-800m).

- **Coniacien** : il formé par des marnes, avec un épaisseur environ de 200m, se situent essentiellement dans la région de Maafa vers Metlili.

- **Campanien C^a₈** : il constitue de marno- crayeux ou de marno – calcaire au sud du terrain d'étude.

- **Mâestrichien C^b₈** : il est forme par :

Calcaire massif à la base (50 mètre).

Alternance des marnes et calcaire dure calcaire massif (100 mètre).

- **Paliocène eV-IV** : qui affleurent au sud du bassin versant près de Dj.Kerroch, caractérise par des formations argileux sableux rouge et graviers.

- **Lutitien** : formation calcaro-Marneux autours de Dj.Dechra (El-kantara).

- **Oligocène** : à l'exutoire du Bassin versant et dans le Metlili, constitue essentiellement par des argiles.

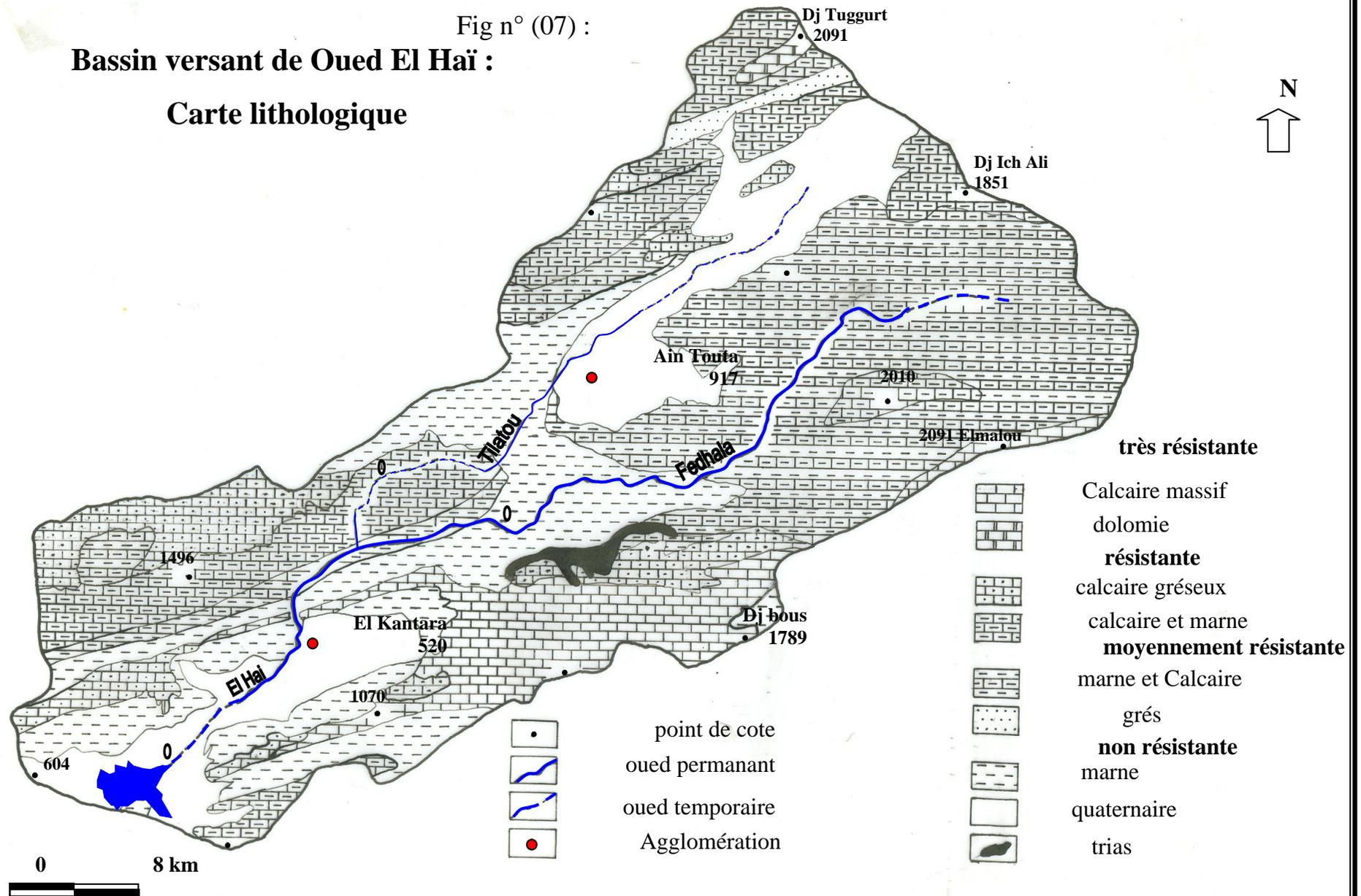
- **Miocène supérieur** : des formations marins; marne, conglomérat et formations anciens. Affleurent autours de terrasse au sud ouest.

-**Quaternaire** : dans les plaines de Ain Touta et El-kantara, et terrasse fluvial former par des éboulis, graviers, sable, limons et grés ; avec un épaisseur très varie.

2-2. La lithologie : il est très important de savoir la nature des formations et leurs résistances à l'agressivité climatique.

Sur la base de l'esquisse géologique des Aurès, nous avons réalise la carte lithologie fig N°07.

Fig n° (07) :
Bassin versant de Oued El Hai :
Carte lithologique



Source : esquisse géologique. R. Laffit, 1939

Le classement des formations selon leurs résistances à l'érosion et ses répartitions spatiales conclut dans le tableau N°02.

Tableau 02 : la résistance des formations a l'érosion

Formations	La résistance	Surface	
		Km ²	%
- calcaire massif - dolomie - grés	Très résistante	216,63	13,05
- calcaire gréseux - calcaire et marne	Résistante	396,24	23,87
- marne et calcaire	Moyennement résistante	511,94	30,84
- quaternaire - marne - gypse	Non résistante	535,19	32,24

L'analyse des résultats obtenues montre une dominance des formations moyenne à faible résistance (63,08%); ce qui augmente leurs vulnérabilités à l'érosion.

2.3. La perméabilité :

L'expérience a montré que la perméabilité est très importante dans les études d'érosion, D'ailleurs la Sogréah en 1969⁽¹⁾ a trouvé une relation exponentielle entre l'apport solide spécifique et l'apport liquide en fonction de la perméabilité des bassins versants; dans les terrains perméables le risque d'érosion provoqué par les écoulements est faible ; par apports aux terrains imperméables.

Selon la nature des formations, nous avons les groupées dans des classes de perméabilité et leurs superficie enregistré dans le tableau suivant :

⁽¹⁾ Relation basée sur les données de 27 bassins versants de l'Algérie de superficie entre 90 à 22300 Km² de type A= a R^N.

Tableau 03 : la perméabilité des formations de la zone d'étude

Formations	Perméabilité	superficie	
		Km ²	%
-Galets, éboulis, graviers (El-kantara)	Perméable	110,72	6,67
-Grés -Calcaire-marneux -Marno -calcaire -Calcaire gréseux	Semi-perméable	908,18	54,71
-Marne	Perméabilité faible	261,62	15,76
-Calcaire massif -Argile (Ain Touta) -Dolomie	impermeable	379,48	22,86

Nous avons plus de la moitié (54,71 %) de la superficie du bassin versant des formations semi-perméables suit par les formations imperméables de 22,86 % dans la partie amont et les marnes 15,75 % à perméabilité faible dans la zone de transition entre la plaine de Ain Touta et celle d'El-kantara . En fin les formations perméables avec la plus petite superficie 6,67 % dans la plaine d'El-kantara (voire planche 1).

Planche 1: formations quaternaires.



a- AIN TOUTA (argile et limon)



b- ELKANTARA
(Galets; graviers et sables).

La partie Amont est caractérisé par un relief accentue de perméabilité faible à moyenne par contre la partie Aval avec un relief assez forte et perméabilité moyenne.

La nous avons subdivisé le bassin versant de Oued El-Hai en deux partie, le sous bassin Amont avec une superficie de 1170km² jusque à El-Kantara et celui de l'Aval d'El-Kantara au site du barrage tendu sur 490km².

En générale, le bassin versant de Oued El-Hai caractérisé par une perméabilité faible à moyenne.

III. LA MORPHOMETRIE :

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

1. Indice de compacité de Graveluis :

C'est la comparaison entre le périmètre du Bassin versant à celui d'un cercle de même surface.

$$=1,32 \text{ Kc} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

P: Périmètre en Km (P =193 Km)

A : surface en km² (A = 1660 K²)

Où: Kc proche de 1,12 => la forme du bassin versant arrondi

Kc loin de 1,12 => la forme allonge.

La valeur de Kc = 1,32 loin de 1,12 indique que le bassin versant est de forme allongé, ce qui augmente théoriquement le temps de concentration.

2. Hypsométrie :

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

-LA COURBE HYPSONOMETRIQUE :

À l'aide des données de levé altimétrique, les tableaux à l'annexe nous avons dessiné les courbes hypsométriques Fig N°08, des sous bassins amont; aval d'El-kantara et le bassin versant de Oued El-Hai.

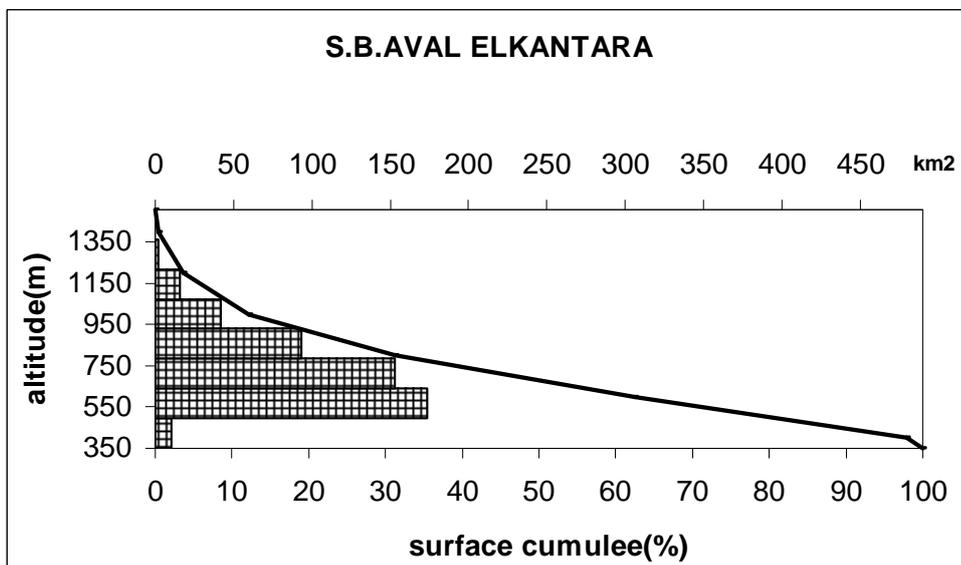
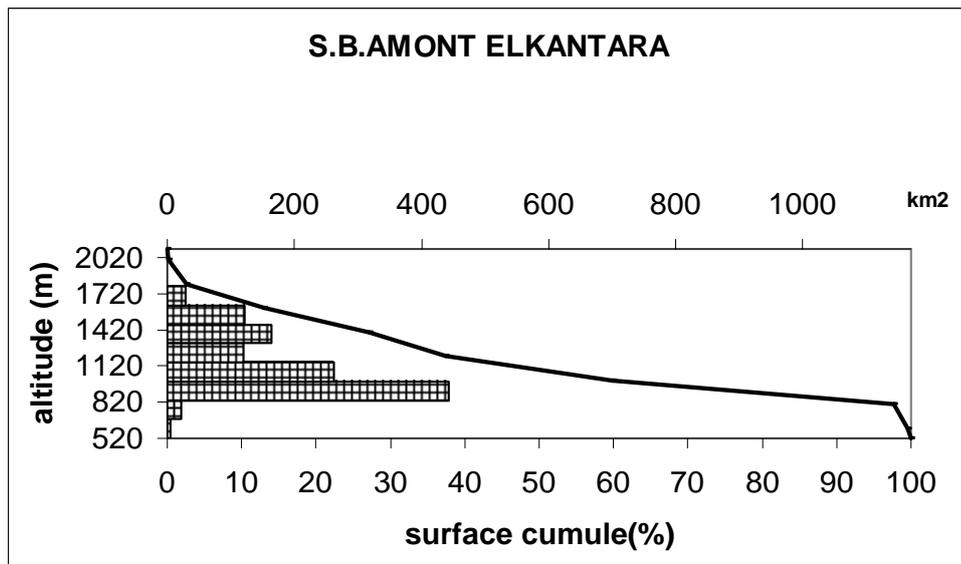
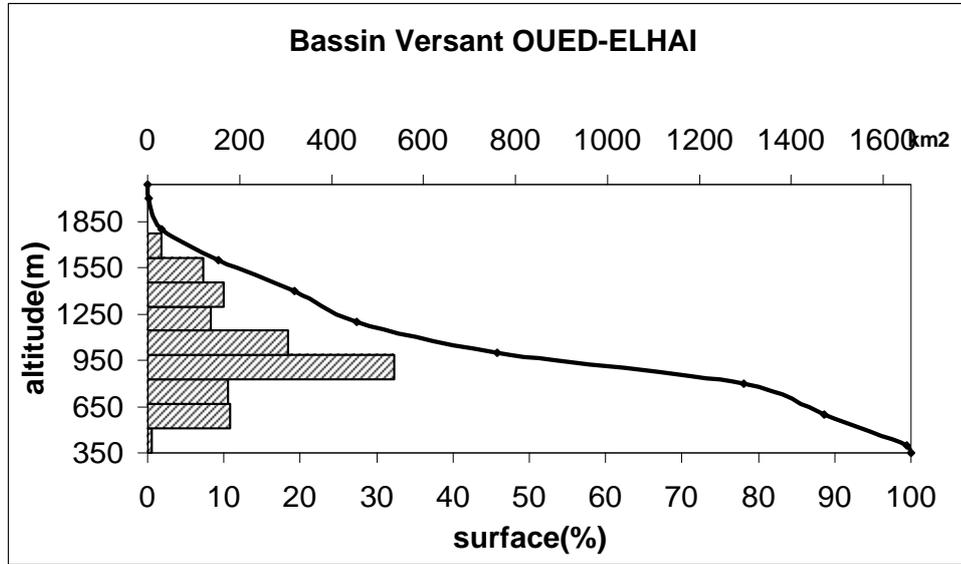
Les paramètres altimétriques sont :

H_{5%} = 1700 m.

H_{50%} =990 m.

H_{95%} = 600 m.

Fig 08 : les courbes hypsométriques



la dénivelée spécifique:

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} = 1100 \text{ mètre.}$$

* Altitude moyenne :

$$H_{\text{moy}} = VR/S = S (H_i * S_i)/S = 1039,83\text{m.}$$

L'altitude moyenne du bassin versant de oued El-Hai est de l'ordre de 1039,83m, où la dénivelée entre eu et l'altitude minimal (à l'exutoire) est de l'ordre de 689,83 mètre ;ce qui montre l'aspect accentué de relief.

3-Le rectangle équivalent :

Cet indice facilite la comparaison entre les bassins versants du point de vue de leur repense hydrologique et ce calculer avec la relation suivante :

$$=73,74\text{km } L = \frac{KC\sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{KC} \right)^2} \right] \text{ La longueur :}$$

$$=22,51\text{km } la = \frac{KC\sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{KC} \right)^2} \right] \text{ La largeur :}$$

4-Les indices de pente:

A. indice de ROCHE :

$$IPR = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_{i=1}^n \sqrt{a_i * d_i} = 0,14$$

D'ou :

L : Longueur de rectangle équivalent en m.

a_i : dénivelée entre deux courbes de niveau en m.

d_i : surface par tranche entre deux courbes de niveau en %.

B. Indice de pente globale I_g :

$$I_g = D/L = 14,98 \text{ m/km}^2$$

Au temps que la superficie du bassin versant est supérieure à 25 km² ;

l'indice de pente I_g n'est pas significatif et il faut le corriger.

C. Dénivelé spécifique DS :

$$DS = I_g \sqrt{S} = 610,33\text{m}$$

Selon la classification de l'ORSTOM, le relief de la zone d'étude est de la classe R7 ; c'est -a- dire un relief très fort ; ce qui encourage le déclenchement de tous les processus d'abrasion.

B. Coefficient orographique Co :

$$Co = \overline{H} * tg \alpha = 286,66 \quad \text{Où :}$$

$$\overline{H} = H_{moy} - h_{min}$$

H_{moy} : altitude moyenne en mètre.

h_{min} : altitude minimale en mètre.

S : surface du bassin versant en km^2

Donc

$CO > 6 \Rightarrow$ le relief du bassin versant est accentué.

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

Le réseau hydrographique du bassin versant d'Oued El-Hai caractérisé par un écoulement temporaire et très dense.

Le talweg principal est alimenté par plusieurs affluents en particulier Oued Tilatou; qui alimentent par les versants Dj.Ich Ali et Dj.Tuggurt par Oued Châaba et Oued Elbiar; ensuite Oued Laksour; qui traversent la plaine et la ville de Ain Touta.

La partie Nord-Est; Amont de Oued Fedhala caractérisé par des affluents alimentés par des sources naturels; comme Oued Bouaioun et Oued Tafrenet. Par contre la partie Aval ; où les affluents sont a écoulement périodique surtout pendant les averses, parmi les principaux affluents ; Oued Hassi ben tamtam; Oued Elmelah; Oued Agroum et Oued Boubiada; qui traverse la ville d'El-kantara.

En général le réseau hydrographique de Oued El-Hai, dans sa plus grande partie est caractérisé par un écoulement périodique durant les saisons pluvieux.

a. La densité de drainage Dd :

On peut la définir comme étant la longueur de réseau hydrographie par unité de surface.

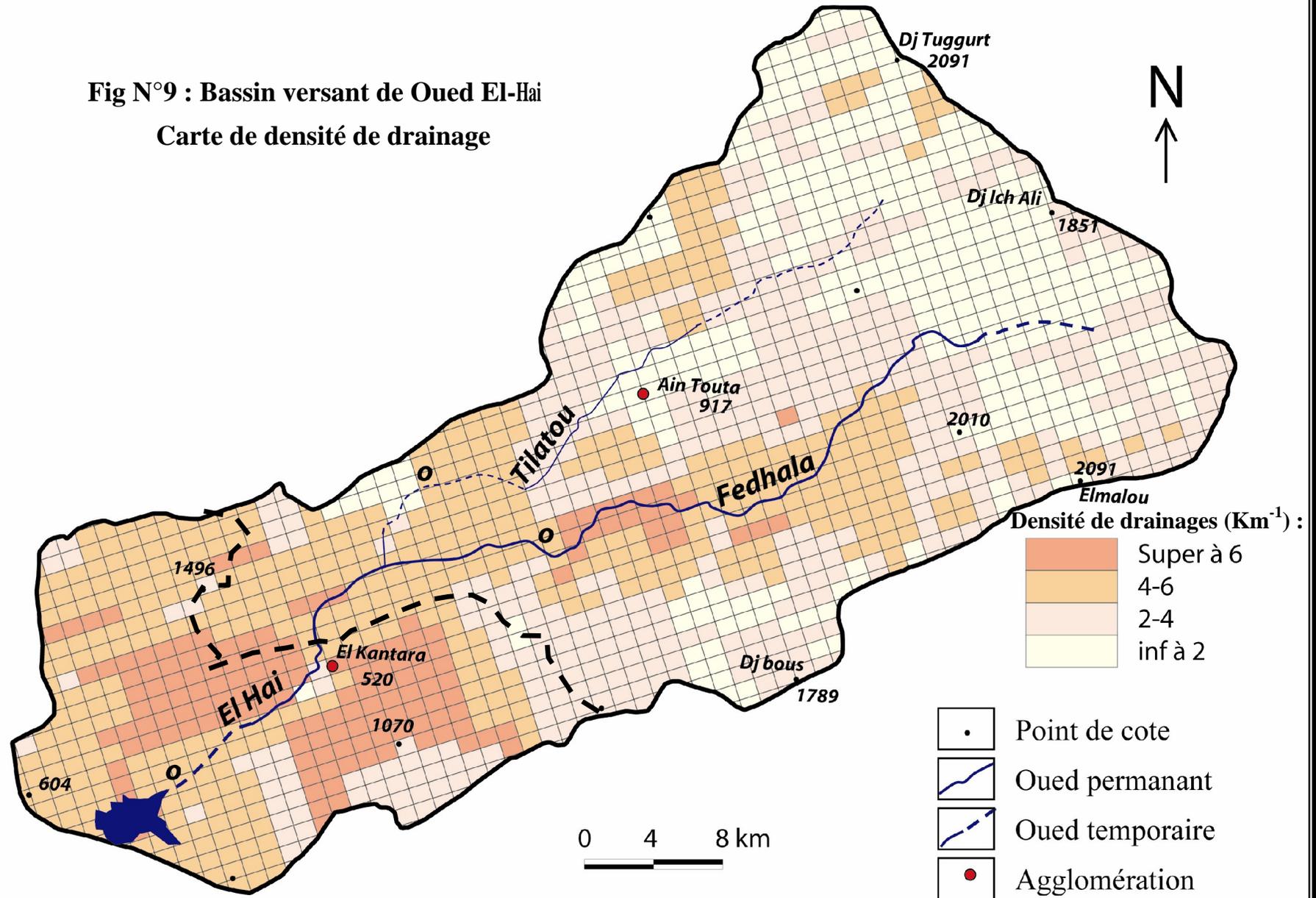
$$Dd = \frac{\sum_{i=1}^n L_i}{A} \quad (R.Gloor, 1982)$$

: la surface en $km^2 A$

: densité de drainage en $Km/km^2 Dd$

La carte de densité de drainage fig N°09, été réalisée à partir des cartes topographiques à l'échelle 1/50 000, qui couvre la totalité du bassin étudié.

Fig N°9 : Bassin versant de Oued El-Hai
Carte de densité de drainage



Source : les cartes topographiques qui couvre la region (1/50 000)

Nous avons calculé la longueur de réseau hydrographique dans chaque maille de 1km². A fin de regrouper les résultats dans des classes arbitraires et leurs répartitions spatiales.

Tableau 04 : la densité de drainage

Classe	Densité de drainage	Surface km ²	S (%)
I	<2	352	21,20
II	2 – 4	482	29,04
III	4 – 6	663	39,94
VI	> 6	163	9,82
TOT	4,22	1660	100%

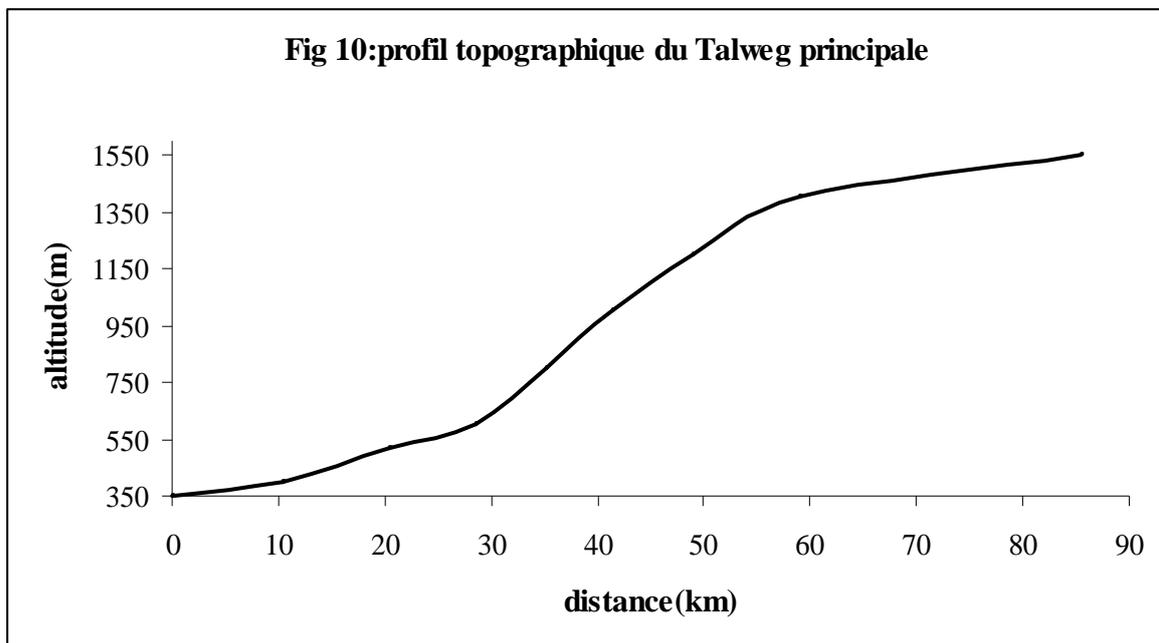
L'objectif a rapproche de cette carte est de savoir le degrés d'adaptation de réseau aux autres caractéristiques physiques (pente, nature des formations, ...).

¹⁾ - L'interprétation du tableau et de la carte montre que la classe III (4 - 6km est la plus dominante avec une superficie de 39,94 %, suite par la classe (II), la on peut dire que 68 ,98 % de la superficie totale du bassin versant de Oued EL-¹⁾ dans "Hai est représentée par une densité de drainage qui varié entre (2 – 6 Km les piedmonts et les bas de versants.

b.Le Talweg principale:

La topographie de la cour d'eau principale joue un rôle très important dans le transport des matériaux vers l'aval (barrage).

Le profil topographique Fig. N°10; montre une pente moyenne environ de 2,28 % dans la plus grande partie de talweg (65Km) Amont d'El-kantara;



où la vitesse d'écoulement augment et même le volume du transport solide de différents types; ainsi que le sapement des berges. Par contre dans la partie aval d'El-Kantara jusque au site du barrage où la pente moyenne devient faible environ de 0,83% sur une longueur de 20,5 Km.

6. Le temps de concentration T_c :

La formule de GIANDOTTI :

$$TC = \frac{4\sqrt{S} + 1,5Lp}{0,8\sqrt{H_{moy} - h_{min}}} = 13,67 \approx 14 \text{heurs}$$

Où :

S : superficie du bassin versant en Km^2 .

Lp : longueur de talweg principale en Km.

H_{moy} : altitude moyenne en mètre.

h_{min} : altitude minimale en mètre.

Alors que la vitesse de transfert des écoulements se calcule de la façon suivante :

$$V = \frac{Lp}{TC} = 6,11 \text{km / heur} = 1,7 \text{m / s}$$

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

Les résultats de la morphométrie des sous bassins et le bassin versant sont consignés dans le tableau N°05.

Du point de vue hydrologique et à partir des caractéristiques morphométriques des sous bassins ; on peut dire que la repense hydrologique est très vite dans le sous bassin Amont que le sous bassin Aval.

IV. SOLS ET OCCUPATION DES SOLS :

1. LE SOL :

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

La carte des sols Fig. N°11; du bassin versant de Oued El-Hai, montre la répartition des sols suivants :

A. Sols à minéraux bruts :

- **Lithosols et régosols (a1)**: le type le plus fréquent (49,94%) ; repose sur un substratum généralement marno-calcaire, calcaire-marneux, calcaire massif ou marne ; dans les hautes montagnes, à profile AC, caractérise par une texture grossier, coupé par le ravinement.

Tableau 05 : récapitulation des caractéristiques morphométriques

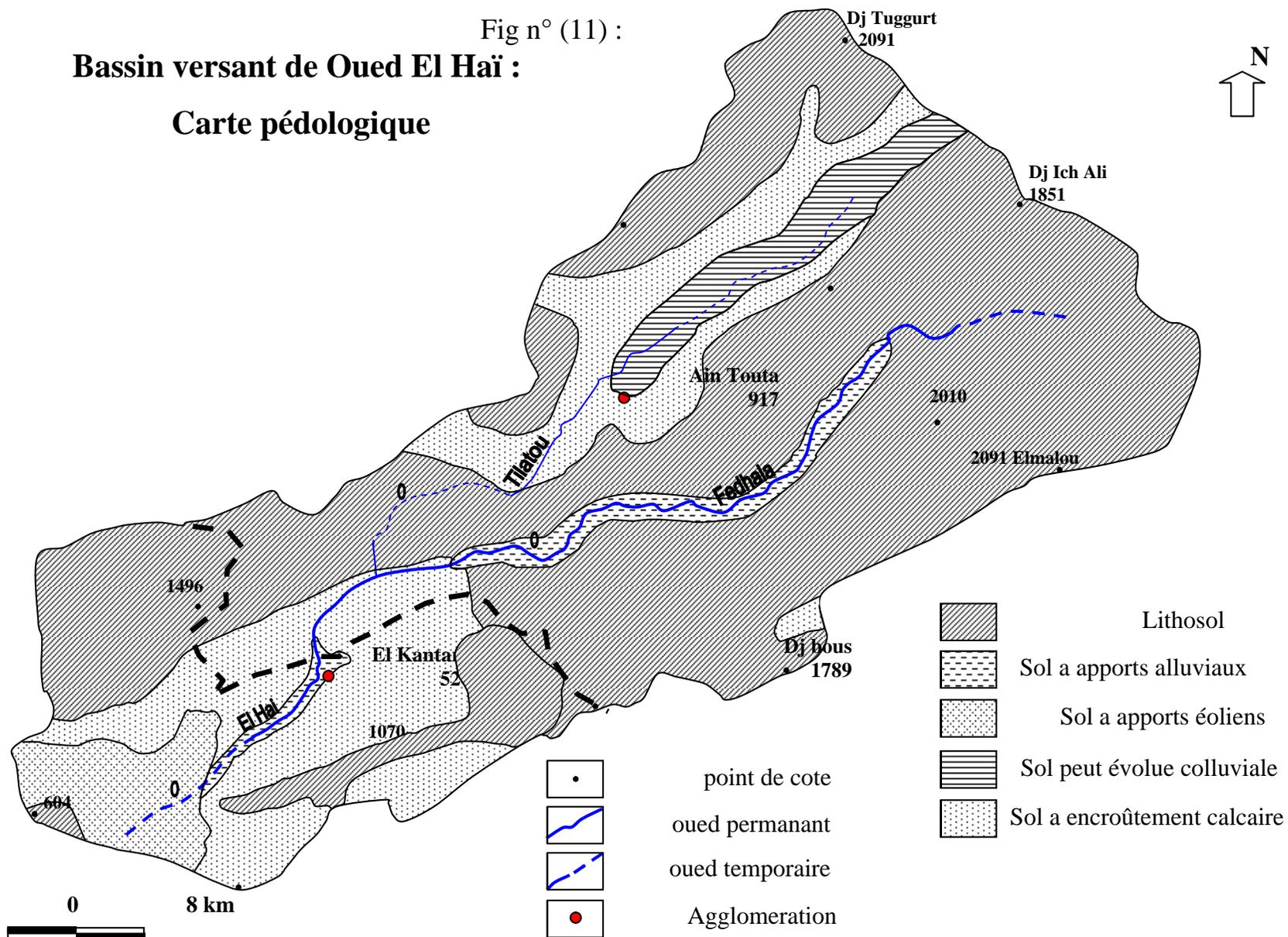
	Unite	S.b. amont	S.b. aval	B. V
S	Km ²	1170	490	1660
P	Km	150	100,5	193
KC	/	1,23	1,27	132
L	Km	53,09	36,93	73,43
la	Km	22,04	13,27	22,6
H50%	M	1070	650	980
H5%	M	1740	1150	1690
H95%	M	820	420	520
Hmoy	M	1175,1	717,22	1039,83
Hmax	M	2091	1508	2091
Hmin	M	520	350	350
Pente moyenne	m/km	4,59	5,23	4,27
Ig	m/km	17,33	19,77	15,93
Ds	M	592,77	437,6	649,04
IPR	/	0,18	0,14	0,14
Dd	Km/km ²	3,19	5,15	4
TC	Heur	11,44	7,78	13,8
V	m/s	1,58	0,73	1,72
Lp	Km	65	20,5	85,5
CO		366,8	275,21	286,66
CM		0,56	0,75	0,41
F1		5,17	7,17	5,76
CT		16,48	36,93	21,7

- **Sols D'apports alluviales (a2):** se localise le long du talweg principal ; avec une superficie de (7,67%). La texture est grumeleuse ; la profondeur peut arrive à 2 mètres.

- **Sols d'apports éoliens (a4):** Ils couvrent une superficie de 9,05 % au Sud Ouest du B.V près du barrage, la profondeur est faible.

B. Sols peu évolués D'apports colluvial (a6) : (Modaux, steppises, -calcimorphes) : se situent sur la plaine de Ain Touta avec une bonde allongée au tours de Oued Tilatou, représentant 9,45 % de la superficie total, Ils reposent sur les formations quaternaires où la pente est très faible.

Fig n° (11) :
Bassin versant de Oued El Hai :
Carte pédologique



Source: BNEDR 1983.

C. Sols à encroûtement calcaire (a5): Ils se localisent en générale sur les formations quaternaires dans les glacis autours des plaines, souvent recoupés par le ravinement. Ce type de sol est le plus érodé, car il se situe dans les pentes moyennes (4-12 %) et recouvrant une superficie de 23,89%.

En conclusion, les sols du bassin versant de O. El-Hai sont très pauvres en éléments nutritif, ce qui abaisse sa cohésion et laisse le ravinement se développe. Pour accepte cette hypothèse, il faut passe à l'utilisation des sols.

2. Occupation des sols :

Il est évident que les terrains occupés par une couverture végétale connaissent une dégradation moindre que les terrains nus, 10,7 T/Km²/an contre 200 T/Km²/an. (Gabert)⁽¹⁾.

Dans ce contexte, nous avons utilisé une carte d'occupation des sols dressée par les services des forêts, qui a été réalisée à l'époque avec quelques ajustements après les sorties sur terrain (voir planche 02).

La carte d'occupation des sols Fig. N°12; montre le répartition d'affectation des terres enregistrée au tableau suivant :

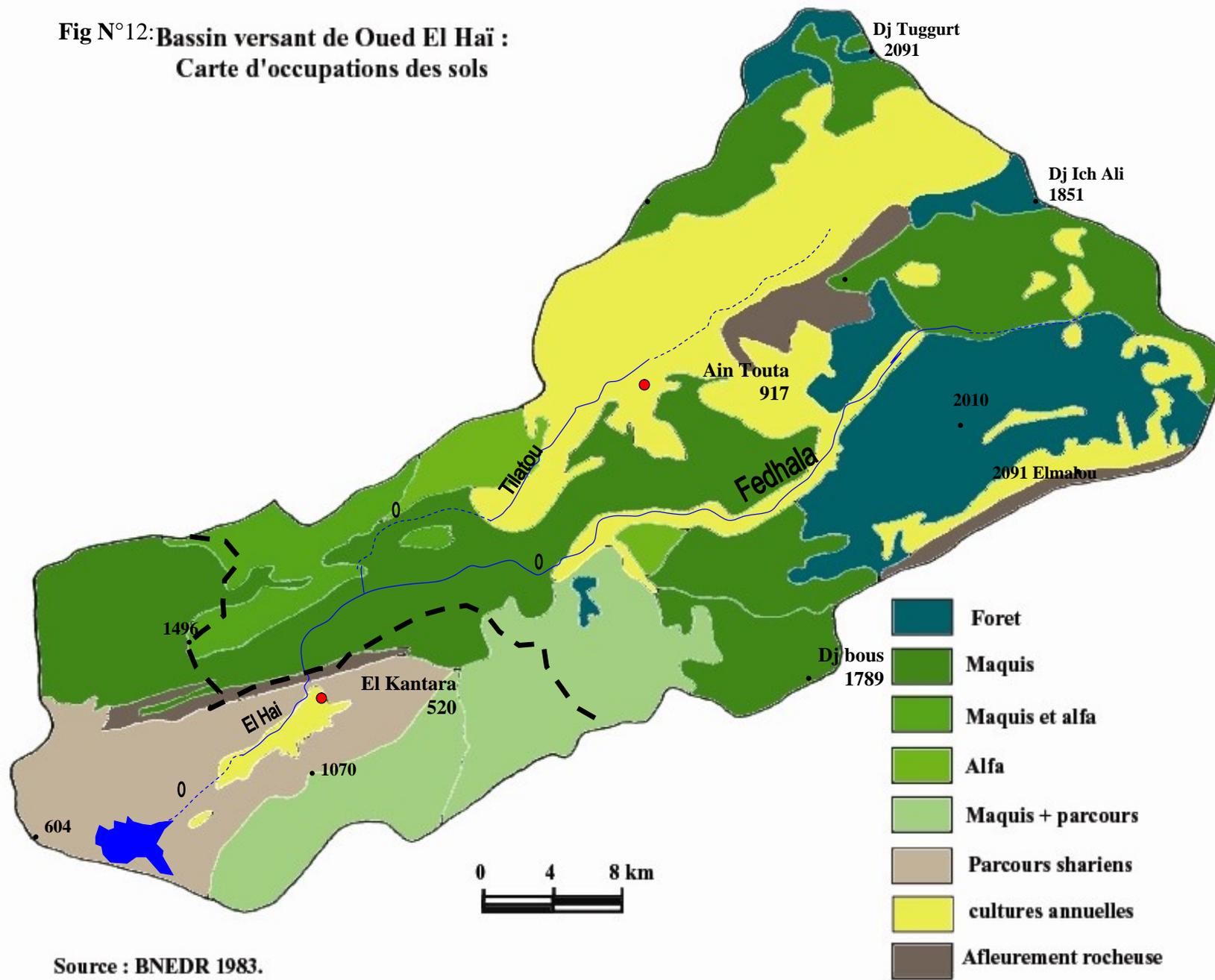
Tableau 06 : La répartition des terres

Type	Surface occupe		états
	Km ²	%	
Forêt	230,70	13,90	Bonne
Maquis	715,7	43,11	Dégradé
Maquis +Alfa	44,05	2,65	Très dégradé
Maquis+ Parcours	204,10	12,29	Très dégradé
Parcours saharien	117,8	7,10	Très dégradé
Alfa	34,62	2,09	Très dégradé
Affleurement rocheux + agglomération	32,7	1,97	/
Culture Annuelle	280,33	16,89	/
TOTAL	1660	100	/

Nous avons regroupe l'occupation de l'espace en 04 classes, selon l'état de dégradation :

⁽¹⁾ Document l'érosion ente la nature et la société P : 227.

Fig N°12: Bassin versant de Oued El Hai :
Carte d'occupations des sols



Source : BNEDR 1983.

I. couverture dense (forêt) : au Nord-est du bassin versant dans Ich Ali et à l'Est Dj. Elmalou et Res Geddslane, ainsi que Dj. Bous et Dj. Tuggurt; la forêt est en bonne états, pour divers raisons.

Le couvert forestier est en général constitué de cèdre, pin l'Alep, Chêne vert, et genévriers.

Cette végétation assure une bonne couverture du sol contre l'agressivité pluviale et les écoulements superficiels, mais malheureusement la superficie de la forêt est relativement réduite (13%) par apports à la superficie du bassin versant.

II. Etat dégradé : constitue une surface de 963,58 Km² (58,06%), maquis, Alfa et parcours.

III. Etat très dégradé à sol nu : sur 185,12 Km² (11,18%), parcours sahariens, Alfa et affleurement rocheux.

IV. Culture annuelle : essentiellement des céréales dans la plaine de Ain Touta et arboriculture autour de l'Oued principal, les tamarins et quelques parcelles au fond de la forêt, avec une superficie de 280,33 Km² (16,89%).

Comme synthèse, le bassin versant de Oued El-Hai est occupe dans sa plus grand partie par une couverture arbustif dégradée à très dégradée, avec un taux de couverture faible, ce qui lui donne une bonne exposition des sols à l'érosion pluviale et au ruissellement.

Planche 2 : le couvert végétale



A- couverture végétale dégradé



B- taux de la couverture végétal moyen



C- céréaliculture dans les montagnes
(Monts Beni frah)



D- Forêt de Dj .Bous(EST de Maâfa)



E- Maquis très dégradé (Mâafa)

CONCLUSION :

Le bassin versant de Oued El-Hai est caractérisé par des composantes stables du milieu physique qui favorise le déclenchement de toutes les formes d'érosion.

Les altitudes décroissent de l'amont vers l'aval avec un dénivelé de 1714 m, les pentes sont moyennes à fortes de 71,63%, avec des formations moyennes à faibles résistances à l'érosion de 63,08%, semi-perméable 54,71%, les caractéristiques morphométriques montrent l'existence d'une dynamique active, justifiée par une densité de drainage moyenne à forte (68,98%), les sols sont squelettiques peu évolués à minéraux bruts de 49,94% et mal protégés par une végétation dégradée à très dégradée particulièrement des maquis 58,05%.

Tous ces facteurs ont prouvé que la zone d'étude souffre des phénomènes d'érosion, et pour accepter cette probabilité; il faudrait passer au deuxième chapitre.



Chapitre II
Les flux dimatiques

Introduction :

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

I. LES PRECIPITATIONS ET LEUR VARIABILITE :

A. Critique et homogénéisation des données pluviométriques :

1. Equipements du Bassin Versant :

Il n'existe que deux stations pluviométriques, qui se situent dans la partie Amont (Nord). pour arriver à une bonne connaissance de la répartition spatio-temporelle des précipitations; nous avons utilisé les stations voisines de la zone étudiée, le tableau N°7 conclue les caractéristiques des stations et les séries d'observation.

2. Contrôle de fiabilité de la série d'observation :

On a adopté la méthode des doubles cumules; qui représente sur les données cumulées de la station référentielle en abscisse et celles de la station à contrôler en ordonnées.

Si le couple des valeurs donne des points alignés ; la série de la station est homogène,

S'il y a une cassure, la série est hétérogène, les données contiennent des erreurs, il faudrait les corriger par le rapport $\frac{\overline{M}}{M}$

Où :

\overline{M} : pente de la courbe cumulées à corriger.

M : pente de la courbe cumulées référentielle.

Exemple de calcul : critique des données de la station de Ain Touta en utilisant les données de la station référentielle de Batna, voir les figures N° 13 et N°14; avant et après la correction, les tableaux de correction sont regroupés dans l'annexe.

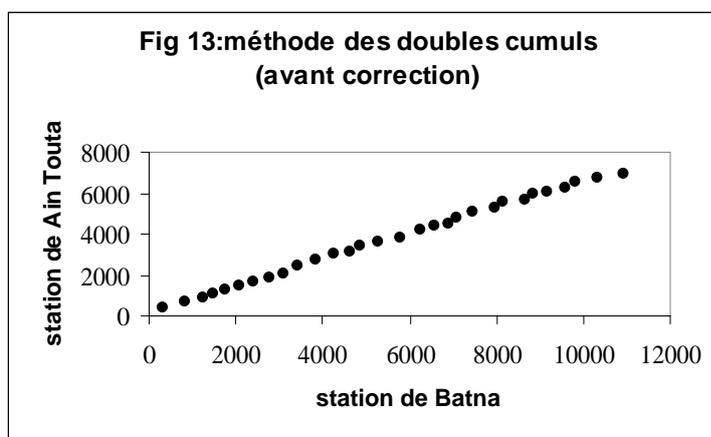
Tableau 07 : données d'observation et séries chronologiques des stations climatiques

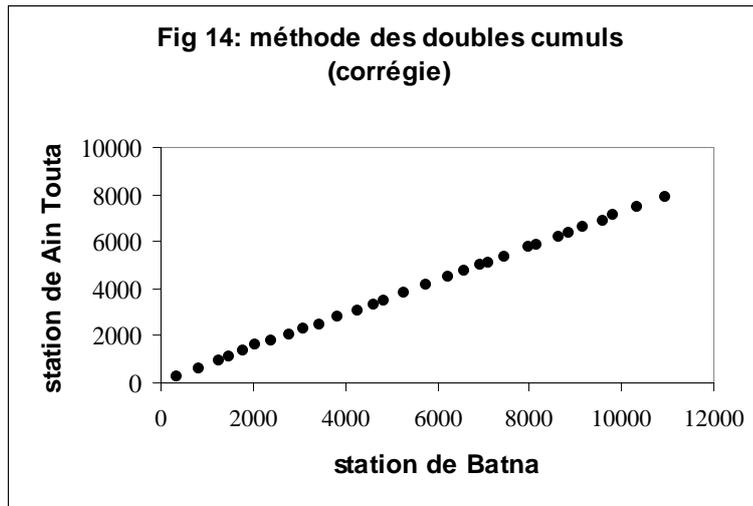
Nature des données	Nom de la station et code	Coordonnées			Période	Validité
		X (km)	Y(km)	Z (km)		
pluviométrie température	AIN TOUTA 06-12-03 (O. N. M)	790	235,9	917	1974-2004 30 (ans)	Série Complète Δ
Pluviométrie	Ch.Ouled chelih 06-12-11	799,4	252,6	1278	1969-2004 34 ans	Lacunaire Δ
Pluviométrie	EL-KANTARA			513	1913-1938 (25 ans)	Complète seltzer
Pluviométrie température	BATNA 070315	814,22	255,7	1050	1970 -2004	Série complète ⊗
Pluviométrie	TAZOULT 07.03.03	822,25	248,95	1180	69-2001 (32 ans)	Complète * Δ
Pluviométrie	SEGENA			716	69-2004 (34 ans)	Complète * Δ
Pluviométrie	BARIKA			456	69-2004 (34 ans)	Complète ⊗
Pluviométrie	DJemourah	786,5	261,6	543	74-2004	Série lacunaire * Δ
Pluviométrie	BOUZINA			1300	70-2004	Série complète *

* station hors du bassin versant

⊗ station référentielle

Δ station retenue dans l'étude.





3. Le comblement des lacunes :

Certaines stations représentent des lacunes, le comblement a été fait avec la méthode de corrélation et régression linéaire (Fig N°15), le tableau N°08 résume les paramètres de régression.

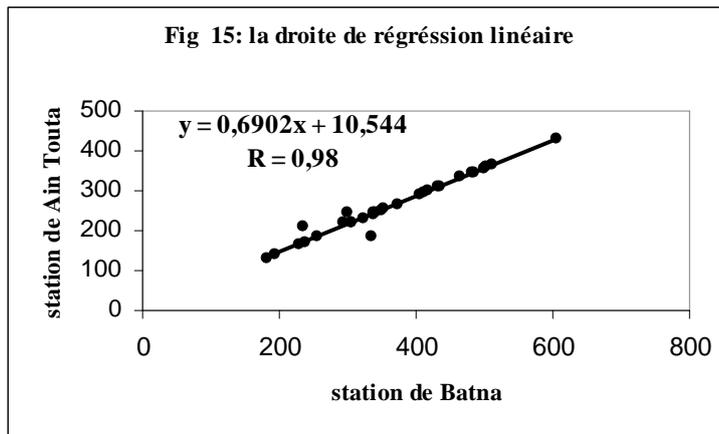


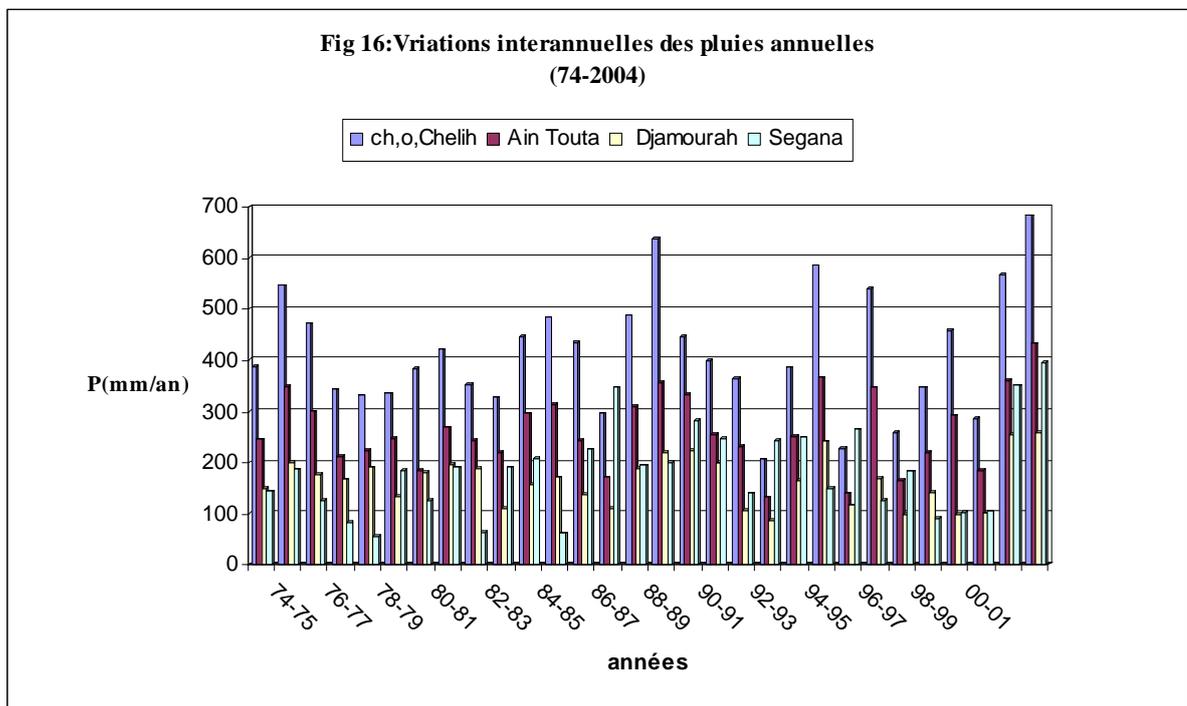
Tableau 08 : paramètre de corrélation comblement des lacunes.

station	R	la droite de régression
Ouled.chlih	0,97	y=1,0848x+17,996
Batna		
Ain Touta	0,98	y=0,5179x+12,1
Batna		
Bouzina	0,88	y=0,6902x+10,544
Batna		
Djamourah	0,78	y=0,7162x-33,113
Bouzina		
Segana	0,74	y=0,878x+35,056
Barika		
Tazoulte	0,75	y=0,4683x+109,2
Batna		

B. Précipitations annuelles et leur irrégularité :

Dans la partie amont, nous avons remarqué le même régime pluvial pour les deux stations (Ain Touta et Chaabet ouled chelih) Fig N°16 ; cela est dû à l'effet de la proximité entre elles.

Pendant la période 1974-2004, la pluviosité de la station de Ain Touta (262,37mm) est moins importante que celle de la station de chaabet ouled chelih (413,8mm). Ce si est justifié par l'effet altitudinal de cette dernière, où le dénivelé entre les deux stations est de l'ordre de 361mètre.



Le régime pluviométrique dans le bassin versant est caractérisé par l'irrégularité inter annuelle, exprimée par le rapport : $\frac{P}{P_{moy}}$

Où :

P : pluie annuelle en mm.

P_{moy} : pluie moyenne interannuelle en mm.

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

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

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

Tableau 09 : les années humides et sèches des stations

Station	Pluie moyenne (mm/an)	Année sèche			Année humide			Intervalle de variation
		Nombre	P min	Année	Nombre	Pmax	Année	P max- P min
Chàabet.O chelih	413,8	16	226,85	93-94	14	681,12	2003-2004	454,27
Ain Touta	262,37	17	139,8	93-94	13	432,1	2003-2004	292,30
Djemourah	164,2	14	85,5	93-94	16	258,7	2003-2004	173
Segana	183,7	14	56,1	78-79	16	395	2003-2004	338

Comme la zone d'étude s'étale sur le versant Sud des Aurès. qui est caractérisé par une pluviométrie décroissante de haut vers le bas (piedmont saharien). ce qui est remarqué entre les stations de Chaabet ouled chelih et Ain Touta, où le nombre des années sèches augmente du Nord vers le Sud et l'inverse pour les années humides. mais les stations de Djemourah et Segana qui se trouvent hors de la zone d'étude où le nombre des années humides plus que les sèches . l' intervalle de variations annuelles entre les deux valeurs extrêmes dans chaque station est très important varie entre 173 à 454,27mm ; ce qui montre un forte fluctuation interannuelle.

Les précipitations annuelles observées à partir de l'année de mise en eau du barrage de Fontaine des Gazelles (2000) présentent l'année (2003-2004) comme une année particulier ; qui est la plus humide dans la série d'observation (30 ans).

Dans ces quatre ans; il y a deux années humides et deux secs, théoriquement on peut prévenir que les apports qui ont arrivé au barrage dans les deux dernières années soient exceptionnels.

De sa part, l'année (93-94) a connu un déficit pluviométrique à travers la grande majorité des stations. Où le rapport $P_{93/94}/P_{moy}$ va de 0,5 (ch.O.Chelih et Ain Touta) à 0,52(Djemourah).

L'irrégularité pluviométrique est aussi fonction de la topographie ; cas station de Ch.O.chelih et Ain Touta -étant stations d'Amont- sont plus

pluvieuses que celles de Segana et Diemourah -étant stations d'Aval- cela dépend essentiellement de l'altitude.

1- Relation précipitation – Altitude $p = f(H)$:

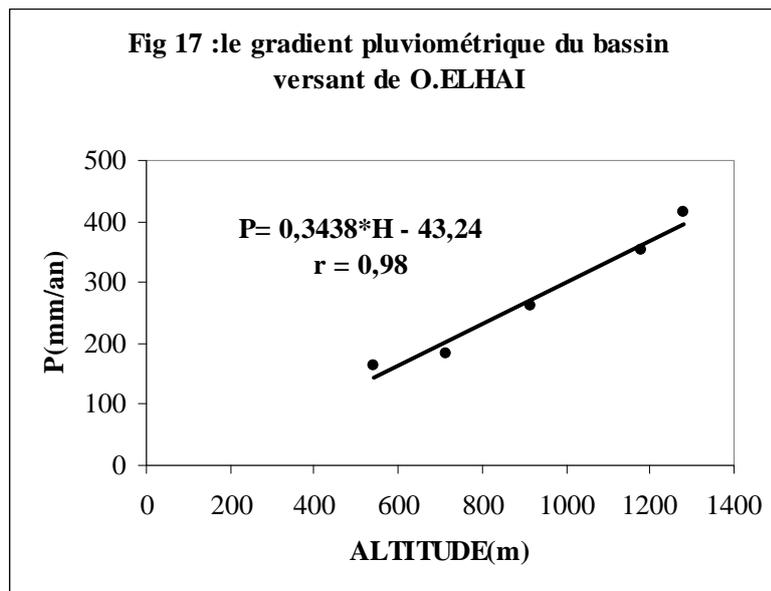
Pour comprendre l'effet de l'altitude sur la hauteur des pluies, on a calculé le coefficient de corrélation (R) représentant la régression de P_{an} (mm/an) en fonction de H (mètre). ce dernier est de l'ordre de 0,98 ; valeur plus significative que celle (0,84) calculée mettant en considération la station de Bouzina ; en raison de sa position.

Par conséquent, le gradient pluviométrique calculé pour toutes les stations n'est pas évident, car la station de Bouzina abaisse la liaison ; pluie-altitude à cause de son site.

A cette effet, on a éliminé cette station, afin d'arriver à un meilleur coefficient de corrélation ($R = 0,98$), tableau N°10 et Fig N°17.

Tableau 10 : le gradient pluviométrique

stations	Djamourah	Segana	Ain Touta	Tazoult	Ouled Chelih
Altitude (m)	543	716	917	1180	1278
P (mm)	164,2	183,7	262,37	353,0	413,8



L'équation de la droite de régression est la suivante : $P = 0,3438 * H - 43,24$

Cette formule est la plus fiable ; car la région se caractérise par les pluies orographiques.

2 – Evaluation de la lame d'eau précipitée :

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

2.1. Méthode des isohyètes :

A partir de la carte pluviométrique Fig N°18; tracé par ANRH (Agence Nationale des Ressources Hydriques) pour les périodes (1922 – 1960) et (1969 – 1989) ; le planimétrage des inter-isohyètes enregistré dans le tableau N°11.

Tableau 11: évaluation de la lame d'eau précipitée sur le bassin versant de O. EL HAI (1969-1989).

Classe des précipitations	Pi moy (mm)	Si (km ²)	Si * Pi
< 300	250	435,62	108 905
300-400	350	806,12	282 142
400 - 400	450	270,76	121 842
> 500	550	147,5	81 152
TOT		1660	594 014

Et donc, la lame d'eau tombée sur le bassin versant se calcule par la formule suivante :

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i \cdot S_i)}{S} = 357,83 \text{ mm / an}$$

Si : surface inter – isohyète (km²).

Pi : précipitation moyen inter- isohyètes (mm).

S : superficie total de bassin versant (km²).

Pour l'ensemble du Bassin versant, la lame d'eau précipitée est estimée à p = 357,83mm/an.

Pour les sous bassins, la lame d'eau précipitée est de l'ordre de 390 ; 7 mm/an en partie Amont ; bien supérieur à celle de l'Aval (280 mm /an).

2.2. Méthode de variation altimétrique :

Cette méthode consiste à évaluer la lame d'eau précipitée par tranche d'altitude successivement sur le bassin étudié, soit la lame d'eau moyenne :

$$P_{moy} = \frac{V_t}{S} = \sum (S_i * P_i) / S$$

Où : V_t volume d'eau tombé sur le bassin versant.

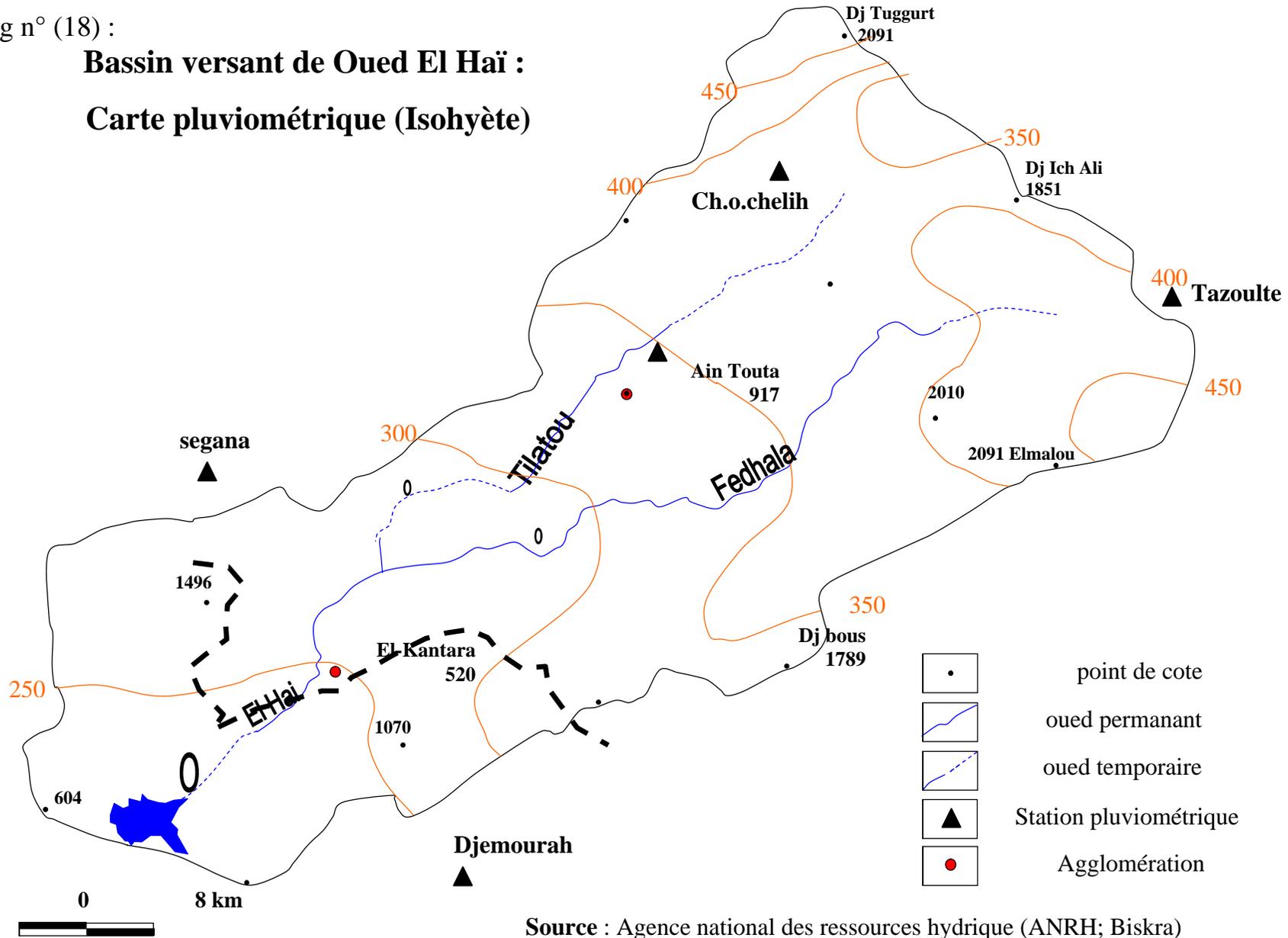
S : surface de bassin versant (km²).

Si : surface de la tranche d'altitude successive (km²).

Pi : pluie d'altitude moyenne de la tranche considérée déterminée graphiquement.

Fig n° (18) :

Bassin versant de Oued El Hai :
Carte pluviométrique (Isohyète)



Source : Agence national des ressources hydrique (ANRH; Biskra)

La méthode est valable pour la période récente (1974– 2004) et les précipitations pour chaque altitude sont calculées par le gradient pluviométrique trouver précédemment : $P = 0,3438 * H - 43,24$ (R=0,98)

Exemple d'application sur le sous bassin aval dans le tableau ci- dessous :
(le reste voir Annexe)

Tableau 12 : Evaluation de la lame d'eau précipitée par la Méthode Altimétrique du sous bassin Aval El-kantara

Tranches d'altitudes	H moy (m)	Pi (mm)	Si (km2)	Si*Pi
350-400	375	86,845	10,2	885,82
400-600	500	129,62	173,66	22510
600-800	700	198,06	153,11	30325
800-1000	900	266,5	93,18	24832
1000-1200	1100	334,94	41,85	14017
1200-1400	1300	403,38	16	6454,1
1400-1508	1454	456,08	2	912,16
H moy	717,22	267,92	490	99937
$P_{an} = \sum (Si*Pi)/S =$				203,95

De la même façon, on peut calcule la lame d'eau précipitée du sous bassin amont et le bassin versant de Oued El-Hai. Les résultats des deux méthodes utilisées sont portés sur le tableau récapitulatif N°13.

Tableau 13 : résultats des méthodes d'évaluation de la lame d'eau précipitée de différent période

Méthode	S.b. Amont	S. b. Aval	B.V. O.El-Hai
Isohyète (69-89)	390,17	280,60	357,83
Altimétrique (74-2004)	360,60	204	314,30
Ecart (iso/alt)	1,08	1,38	1,14

Les écarts observés entre les deux méthodes, sont justifiés par la différence entre les séries de mesure Isohyète (69 - 89), altimétrique (74-2004) d'un coté, et de l'autre par l'influence des 10 dernières années de sécheresse qu'a connu l'Algérie. Alors, on va adopté dans les prochains calculs les valeurs de la méthode altimétrique; les plus convenable pour la période d'étude.

C – Précipitation mensuelle et le régime saisonnier :

Pour arriver à une bonne compréhension du comportement spéciale des pluies mensuelles et saisonnières, devant l'insuffisance des données sur la zone d'étude, la distribution mensuelle obtenue par la méthode des rapports comme suit :

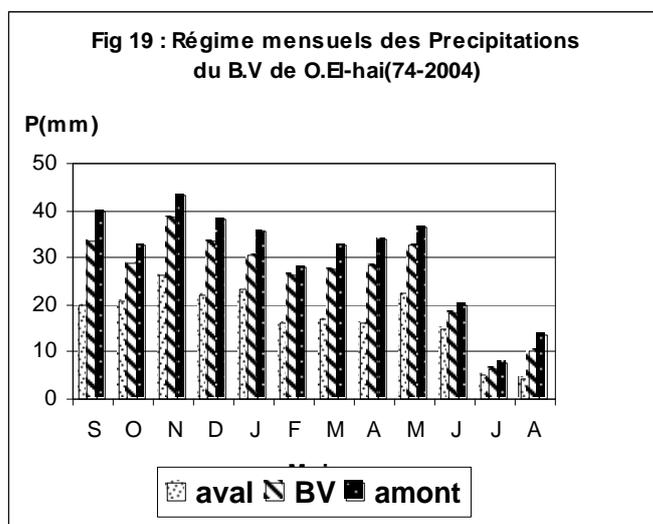
- Exemple de calcul pour le sous bassin Amont :

Tableau 14 : Répartition mensuelle des précipitations du sous bassin Amont

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
Ain Touta	25,28	29,17	34,03	27,22	27,22	15,55	21,39	19,44	28,19	21,39	8,75	4,86	262,49
Ch.o.chelih	49,20	38,12	46,56	43,92	39,69	36,86	39,45	44,12	39,84	15,69	5,53	20,82	413,8
Moyen	37,24	30,65	40,30	35,57	33,46	26,21	30,42	31,77	34,01	18,54	7,14	12,84	338,15
%	11,02	9,07	11,93	10,53	9,90	7,70	9,00	9,41	10,04	5,49	2,11	3,80	100
P amont	39,75	32,71	43,01	37,97	3,71	27,98	32,47	33,93	36,31	19,79	7,62	13,70	360,6

La répartition mensuelles des précipitations dans le bassin versant de O.El-Hai et le sous bassin Aval sont obtenue de la même façon expliquée précédemment et le tableau suivant résume les résultats :

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
Sous bassin amont	39,7	32,7	43,0	37,9	3,7	27,9	32,4	33,9	36,3	19,7	7,6	13,7	360,6
Sous bassin aval	20	21	26	22	23	16	17	16	22	15	5	4	204
Bassin Versant	33	29	39	34	30	26	28	28	33	18	6	10	314,3

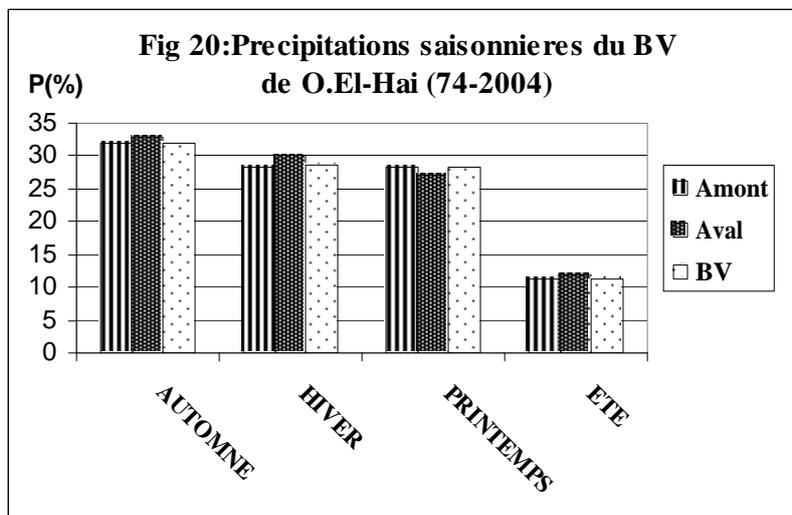


A partir des tableaux au dessus et fig N° 19, on peut dire que le mois de Novembre est le plus pluvieux et le mois de juillet est le plus sec dans le sous bassin Amont et le bassin versant; tandis que le sous bassin aval, le mois de Août est considéré comme le plus sec le long de l'année, la zone d'étude est marquée par une importante variation des précipitations.

Concernant le régime saisonnier (tableau N° 15 et Fig N°20).

Tableau 15 : Précipitations saisonnières du B.V de oued El-Hai (74-2004)

	S.B . Amont		S.B.Aval		B.V	
	P (mm)	%	P (mm)	%	P (mm)	%
Automne	115,47	32,02	66,83	32,15	100,67	32,02
Hivèr	101,66	28,19	61,22	29,01	90,09	28,65
Printemps	102,71	28,48	55,13	27,02	88,57	28,17
Eté	41,11	11,4	24,11	11,82	35,01	11,16
année	360,6	100%	204	100%	314,3	100%



Malgré la décroissance des précipitations du Nord vers le Sud, les pourcentages saisonniers restent presque constants pendant chaque saison pour les deux sous bassins et le BV.

La saison d'automne est la plus humide (32%) ; c'est le début de l'année agricole et la préparation des sols cultivées ; cette action se coïncide avec l'abondance pluviale et la nature dénudé des sols ; peuvent favoriser la dégradation des terres. les pourcentages des précipitations pendant l'hiver et le

printemps sont très rapprochés environ de 28%, enfin l'Eté est caractérisé par une sécheresse remarquable (11%).

Normalement les études de l'érosion implique l'étude des pluies journalières maximales et avères ; parce qu'elles sont responsables de tout déclenchement de splash et de transport, mais il est suffie d'étudie le régime mensuel et saisonnière dans l'absence des données.

II. LES TEMPERATURES ET LEUR REGIME THERMIQUES :

Le manque d'équipement en stations climatiques dans la zone étudiée ; nous oblige d'estimer les températures par une méthode qui utilisent le gradient thermique déterminé par : P.SELTZER (1913-1938) où :

-Les températures minimales décroissent par 0,45°C chaque 100m d'altitude.

-Les températures maximales décroissent par 0,70°C chaque 100m d'altitude.

Par apport à la station référentielle de BISKRA (H= 86m).

* exemple de calcul pour le sous bassin aval :

Altitude moyenne du sous bassin Aval ($H_{moy} = 717,22m$)

$$T_{min}(s.BV) = T_{min} (Biskra) - \left[\frac{(717,22 - 86) \times 0,45}{100} \right]$$

$$= T_{min} (Biskra) - 2,48$$

$$T_{max}(s.BV) = T_{max} (Biskra) - \left[\frac{(717,22 - 86) \times 0,7}{100} \right]$$

$$= T_{max} (Biskra) - 4,49$$

Les coefficients de décroissances thermiques en fonction des altitudes moyennes conclue dans le tableau suivant :

Tableau 16 : gradient thermique du B.V de Oued El-Hai

	Altitude moy (m)	T(°C)	Coefficients
Station Biskra	86	Min	0
		Max	0
S.b Amont	1175,1	Min	4,9
		Max	7,62
S.b Aval	717,22	Min	2,84
		Max	4,42
Bassin Versant	1039,83	Min	4,29
		Max	6,68

Les températures obtenues par cette méthode sont portées sur le tableau N°17 et Fig N°21 :

Tableau 17 : variations mensuelles des températures dans le B.V

de O. El-Hai (74-2004) :

		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	année
S.B Aval	Max	30	24	18	13	12	15	19	22	27	32	36	37	37
	Tmoy	26	20	14	9	8	10	14	17	22	27	30	31	19
	min	21	15	9	5	4	6	9	12	17	21	25	25	4
S.B Amont	Max	27	21	15	10	9	12	15	18	24	29	33	34	34
	Tmoy	23	17	11	7	6	8	11	14	20	24	28	28	16
	min	19	13	7	3	2	4	7	10	15	19	23	23	2
Bassin versant	Max	28	22	16	11	10	13	16	19	25	30	34	35	35
	Tmoy	24	18	12	7	6	8	12	15	20	25	28	29	17
	min	19	14	8	4	3	4	7	10	16	20	23	23	3

Partant le mois de Août est le plus chaud et le mois janvier est le plus froid ; l'ampleur thermique entre les températures extrêmes (Tmax et Tmin) peut atteindre 10°C et même plus a l'échelle journalière ; ce qui peut provoquer toutes les processus d'altération mécanique (désagrégation) par le gel et dégel.

III. REGIME CLIMATIQUE :

1. Indice de DEMARTONNE (1923) :

Qui définit l'aridité A ; par le régime pluviométrique et thermique :

$$A = \frac{P}{T + 10}$$

Où :

: précipitation moyenne annuelle (mm) P

: température moyenne annuelle (c°). T

Selon la valeur de A ; il a retiré le classement suivant :

20 < A < 30 : climat tempéré.

10 < A < 20 : climat semi-aride.

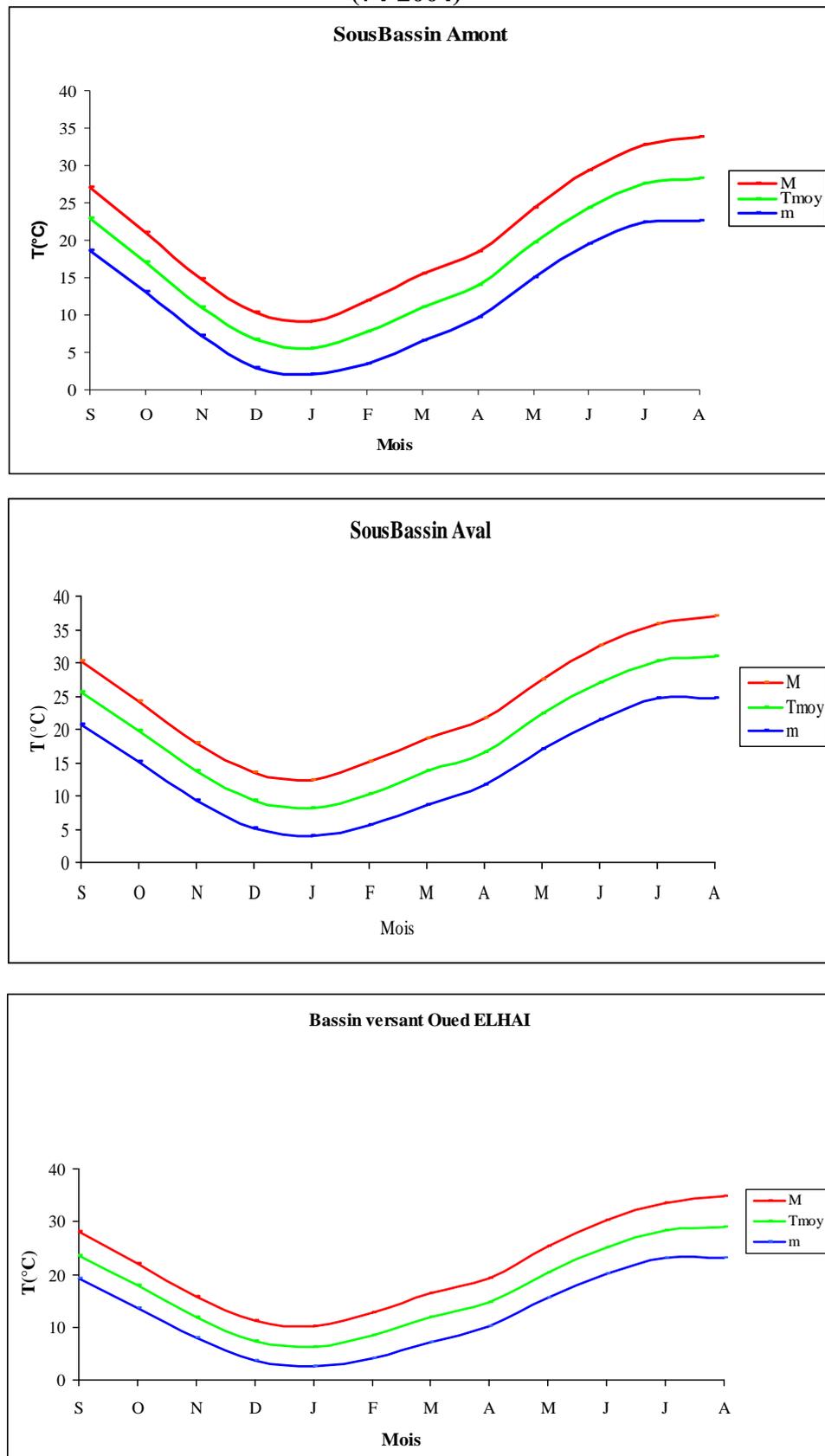
7,5 < A < 10 : climat steppique.

5 < A < 7,5 : climat désertique.

A < 5 :

climat hyperaride.

Fig 21 : Variations des températures mensuelles du Bassin versant Oued ELHAI (74-2004)



Pour notre cas :

- le sous bassin AMONT $A = 13,70 \Rightarrow$ climat semi aride.

- le sous bassin AVAL $A = 7,05 \Rightarrow$ climat désertique.

Donc le climat du bassin versant de O.El-Hai varie du semi-aride au Nord vers le désertique au Sud.

Climagramme d'Emberger :-2

Il s'agit de déterminer la gamme des climats méditerranéens par deux facteurs la précipitation et la température.

$$Q = \frac{1000P}{\left(\frac{M+m}{2}\right)(M-m)}$$

: précipitation annuelle totale (mm/an). P

: température maximale du mois le plus chaud en Kalven. M

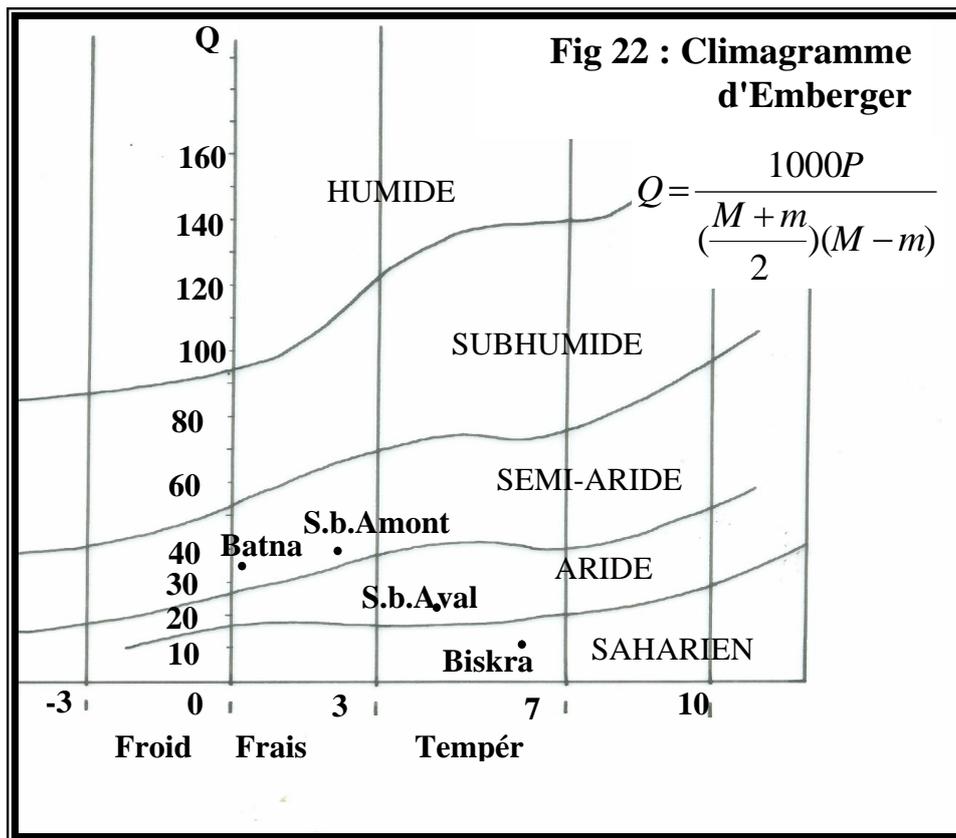
: température minimale du mois le plus froid en Kalven. m

Les résultats sont portés sur le tableau N°18 et le graphe Fig N°22.

Tableau 18 : Q Emberger

Station	P (mm)	T(°C)		Q
		Min	Max	
Station de BATNA	357	0,1	34,8	35,40
S.B AMONT	360,6	2	33,78	38,98
S.B. AVAL	204	4,06	36,48	21,09
Station de BISKRA	111,7	6,9	41,4	10,89

L'interprétation de la Fig N°22; montre l'étalement de la zone d'étude sur le climat semi-aride à hiver frais en amont, et aride à hiver tempéré en aval.



3-Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnols :

Ils ont considéré un mois sec là où la précipitation moyenne (mm) est inférieure ou égale à deux fois la température (°C) : $P=2T$; les diagrammes des bassins versants sont réalisés à partir des données du tableau N°19 (Fig N°23).

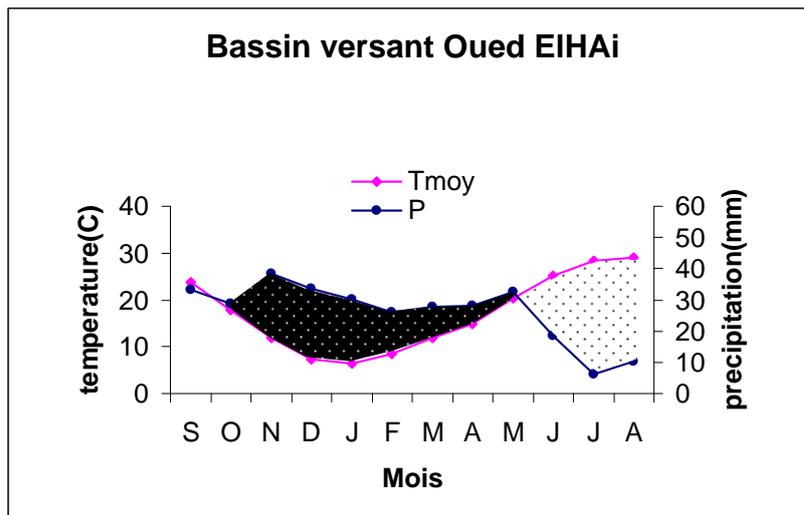
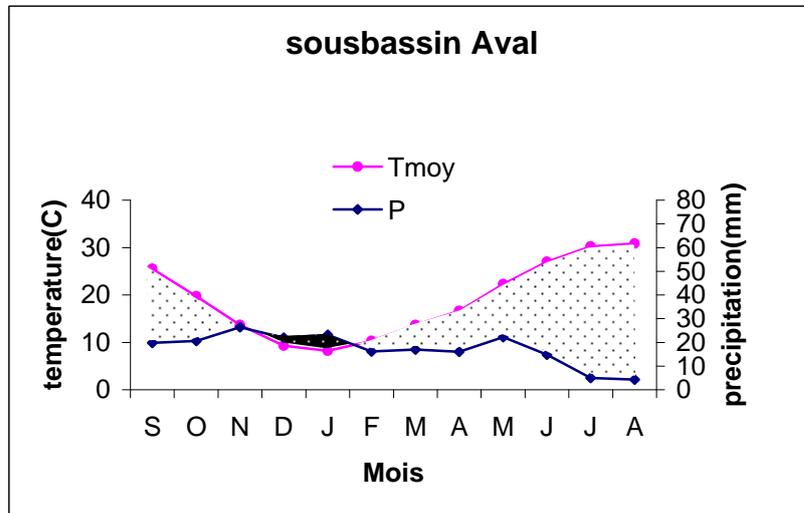
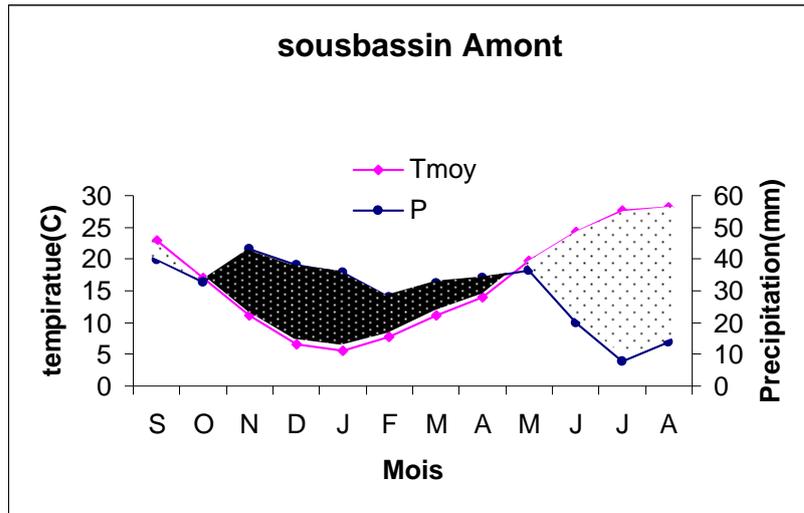
Tableau 19 : précipitations et les températures du B.V de O.EL-HAI(74-2004)

		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
AVAL	P	19,81	20,63	26,43	21,89	23,18	16,19	16,94	15,97	22,26	14,79	5,03	4,26	204
	T	15,52	19,72	13,67	9,27	8,22	10,32	13,67	16,62	22,27	26,97	30,22	30,82	18,94
AMONT	P	39,75	32,71	43,01	37,97	35,71	27,98	32,47	33,93	36,31	19,79	7,62	13,70	360,6
	T	22,89	17,09	11,04	6,64	5,59	7,69	11,04	13,99	19,64	24,34	27,59	28,19	16,31
B.V	P	33,31	28,80	38,56	33,59	30,31	26,19	27,68	28,22	32,67	18,38	6,31	10,32	314,3
	T	23,67	17,87	11,82	7,42	6,37	8,47	11,82	14,77	20,42	25,12	28,37	28,97	17,09

L'analyse des diagrammes distingue deux périodes ; sèche et humide.

Le sous bassin Amont, présente 07 mois humides, débutant d'Octobre à Avril et 05 mois sèches de Mai jusque à Septembre. Par contre la période humide dans le sous bassin Aval est courte (03 mois), de Novembre à Janvier et (09 mois) sec de Février à Octobre car la région est aride.

Fig 23 : Diagramme Ombrothèrmique de GAUSSEN et BEGNOULS



 Période humide
 Période sèche

En gros, le bassin versant est caractérisé par une longue période humide d'Octobre à Mai (08 mois) et la période sèche de Juin à Septembre (04mois) qu'est courte.

IV. L'EVAPOTRANSPIRATION :

L'un des éléments climatiques la plus difficile a approché ; on distingue :

- évapotranspiration potentielle ETP.
- évapotranspiration réelle ETR.

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

1. Le calcul de ETP :

a. la formule de THORNETHWAITE :

$$ETP = 16 \left(\frac{10T}{I} \right)^a K$$

évapotranspiration potentielle en mm.

: ETP

: température moyenne mensuelle (°C) T

: indice thermique annuelle égal à la somme des indices mensuels i . I

: coefficient de correction dépend de la latitude. K

On calcule :

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

a : indice calculé à partir de la relation: $a = 0,016 * I + 0,5$

Les résultats obtenus sont comme suit :

Tableau 20 : Evapotranspiration potentielle des sous bassins de Oued El-Hai

(Méthode de Thornetwaite)

Sous Bassin Amont

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
Tmoy	23	17	11	7	6	8	11	14	20	24	28	28	16
P	40	33	43	38	36	28	32	34	36	20	8	14	360,6
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,85	1,21	1,22	1,24	1,16	/
i	10	6	3	2	1	2	3	5	8	11	13	14	78
a	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,75
ETP	108	61	25	10	8	13	30	82	97	142	180	175	931

Sous Bassin Aval

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
Tmoy	26	20	14	9	8	10	14	17	22	27	30	31	19
P	20	21	26	22	23	16	17	16	22	15	5	4	204
K	1,03	0,97	0,86	0,85	0,87	0,85	1,03	1,85	1,21	1,22	1,24	1,16	/
i	12	8	5	3	2	3	5	6	10	13	15	16	96
a	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,04
ETP	121	67	28	13	10	16	34	90	107	159	204	199	1048

Les valeurs de ETP de sous bassin Amont varient de 8 mm en mois de janvier à 180mm au mois de juillet, L'ETP annuelle estimée à 931 mm. C'est la même chose observée au sous bassin Aval, où la valeur minimale de l'ETP est enregistrée à Janvier 10mm et le maximum à juillet 204et ETP annuelle de l'ordre 1048mm.

La différence peut être s'explique par la continentalité et les températures (semi-aride et aride).

b. la formule de SERRA :

$$ETP = 16 \left(\frac{10 * T}{I} \right)^a$$

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{avec :} \quad \text{ou } i = 0,09 T^{3/2}$$

T : température moyenne mensuelle.

$$a = 0,016 T + 0,5$$

Les valeurs estimées de ETP sont portées au tableau.

Tableau 21 : ETP par la méthode de SERRA

Sous Bassin Amont

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
Tmoy	23	17	11	7	6	8	11	14	20	24	28	28	16
I	10	6	3	2	1	2	3	5	8	11	13	13	77
a	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	1,74
ETP	105	63	30	12	9	16	30	45	81	117	146	151	806
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT

Sous Bassin Aval

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT
Tmoy	26	20	14	9	8	10	14	17	22	27	30	31	19
i	12	8	5	3	2	3	5	6	9	13	15	15	95
a	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	2,02
ETP	118	70	34	15	12	19	34	50	90	132	166	173	911
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	TOT

Cette fois, les valeurs extrêmes de ETP estimés coïncident au mois de Janvier et à Août a travers les deux sous bassins.

La comparaison entre les deux méthodes utilisées pour l'estimation de l'ETP annuelle dans la zone étudiée, montre que la méthode de SERRA a donné des valeurs moins que celles trouvées par la méthode de THORNTHWAITE, et la différence annuelle varie entre 125mm dans le sous bassin amont et 137 mm à l'aval.

2. Le calcul de ETR :

a. Formule de TURC :

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

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm.

$$L = 300 + 25T + 0,05T^3$$

T : température moyenne annuelle en C°

Nous obtenons les résultats suivants :

Tableau 22 : ETR annuelle par la méthode de TURC

Sous bassin	T (°C)	P (mm)	ETR (mm)	ETR=%P
AMONT	16,31	360,6	351,6	97,5
AVAL	18,94	204	211,08	103,47

b. Méthode thornethwaite :

Le bilan de thornethwaite fait intervenir l' ETP et les précipitations, pour le calcul de ETR, deux cas se présentent :

$ETR = ETP \Rightarrow P > ETP - Si$
 - Si $P < ETP$ et $P + RFU > ETP \Rightarrow ETR = ETP$
 $P + RFU < ETP \Rightarrow ETR = P + RFU$ Ou

Ces paramètres sont calculés à l'échelle des sous bassins, et pour les réserves utiles (RFU) sont successivement 55mm⁽⁵⁾ et 30 mm dans le sous bassin amont et aval. (Voir les tableaux N°23 et N°24), pour la vérification de la validité des valeurs trouvées avec la relation :

$$ETR = ETP - \text{Déficits Agricole} = P - \text{Excédent}$$

Et donc pour le Sous bassin Amont ; $ETR = 317,81\text{mm}$, et le Sous bassin Aval

$ETR = 204 \text{ mm}$.

Tableau 23 : méthode de Thornethwaite sous bassin Amont

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	tot
P	40	33	43	38	36	28	32	34	36	20	8	14	361
ETP	108	61	25	10	8	13	30	82	97	142	180	175	931
P-ETP	-68	-28	18	28	28	15	2	-48	-61	-122	-172	-162	
RFU	0	0	18	46	55	55	55	7	0	0	0	0	
ETR	40	33	25	10	8	13	30	82	36	20	8	14	318
W	/	/	/	/	19	15	2	/	/	/	/	/	
D	68	28	0	0	0	0	0	0	61	122	172	162	613
EC	0	0	0	0	9	7	1	1	0	0	0	0	19

Tableau 24 : méthode de Thornethwaite sous bassin Aval

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	tot
P	20	21	26	22	23	16	17	16	22	15	5	4	204
ETP	118	70	34	15	12	19	34	50	90	132	166	173	911
P-ETP	-98	-49	-7	7	11	-3	-17	-34	-67	-117	-161	-168	
RFU	0	0	0	7	18	15	0	0	0	0	0	0	
ETR	20	21	26	15	12	19	32	16	22	15	5	4	204
W	/		/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0
D	98	49	7	0	0	0	2	34	67	117	161	168	703
EC	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	/	0

⁽⁵⁾ Calculent dans une mémoire d'ingénieur (contribution à l'étude hydrologique de la région de Batna (Ain Touta) p:46.

Comparaison des résultats :

	ETR TURC (mm)	Thornethwaite (mm)
S.b Amont	351,6	317,81
S.b Aval	211,08	204

Les résultats sont comparables, mais la méthode de thornethwaite est la plus fiable, car dans le sous bassin aval $ETR = P$ par contre, avec la méthode de TURC on obtient $ETR > P$.

V. RUISSELLEMENT :

Nous approchons certainement aux écoulements dans l'élément étudié précédemment :

La méthode de Thornethwaite estime l'écoulements à 18,92 mm dans le sous bassin Amont. Par contre dans le sous bassin Aval où il devient nul.

Une autre méthode permet de calculer le ruissellement est la prochaine.

- **Méthode de TIXERONT-BERKALOUF :**

Applicable en zone aride :

$$R = \frac{P^3}{3ETP^2}$$

: pluviométrie annuelle en m. P

: évapotranspiration potentielle en m. ETP

La lame d'eau ruisselle est estimée à 13,48 mm/an pour le bassin versant de Oued El-Hai.

La comparaison des deux méthodes est consignée dans le tableau N°25 :

Tableau 25 : Estimation de ruissellement :

Sous bassin	THORNETHWAITE (mm/an)	TIXERONT (mm/an)
AMONT	18,92	18,05
AVAL	0	2,58

Les deux méthodes sont données presque les mêmes résultats dans le sous bassin Amont (18mm), ce qui n'est pas le cas dans le sous bassin Aval où la relation de Tixeront estime la lame d'eau ruisselée à 2,58mm, par contre dans la

méthode de Thornethwaite ; elle devient nulle. Les résultats les plus favorables sont ceux de TIXERONT ; car cette méthode est applicable dans le climat aride.

La lame d'eau ruisselée dans le bassin versant de Oued El - Hai est estimée à 13,48 mm/an.

IV. BILAN HYDROLOGIQUE :

La formule la plus simple se forme :

$$P = E + R + I$$

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

E : évaporation réelle moyenne annuelle en mm.

R : ruissellement moyen annuel en mm.

I : infiltration moyenne annuelle en mm.

Pour les sous bassins, en remplaçant chaque terme par sa valeur et nous aurons :

- S.b.Amont : $360,6 = 317,8 + 18,92 + I$ soit : $I = 23,88\text{mm}$ (6,62% de Pan)

- S.b.Aval : $204 = 204 + R + I$ soit : $R = 0$ et $I = 0$.

A partir de ces résultats, on peut dire que le sous bassin Amont est caractérisé par un excès d'eau (écoulement) ; par contre dans le sous bassin Aval présente un déficit hydrologique remarquable.

Conclusion :

Le bassin versant de Oued El-Hai est caractérisé par une irrégularité inter annuelle et mensuelle. Les précipitations saisonnières de sous bassin Amont sont concentrées essentiellement en automne et au printemps, par contre le sous bassin aval, les précipitations sont concentrées en Automne et hiver ; alors que la zone d'étude montre une diminution des précipitations et augmentation des températures du Nord vers le Sud, de climat semi aride en Amont vers l'aride en Aval.

Le régime pluviométrique est caractérisé par le phénomène aléatoire sous forme orageuse, les variations des températures mensuelles et saisonnières et journalières avec une ampleur thermique qui peut arriver à 15°C; favorisant le déclenchement de tous les mécanismes d'altération physico-chimique et mécanique.

Le bilan Hydrologique de sous bassin Amont montrent un excès d'eau qui alimente le ruissellement, alors que le sous bassin aval est nettement marqué un déficit au cours de l'année.

Chapitre III
Lefacteur hydrologique

Introduction :

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

- Equipement en stations de Jaugeages:

Il n'existe qu'une seule station hydrométrique dans le bassin versant de O. El-Hai à El-kantara, la série d'observation n'est pas continue, ainsi que le niveau de mesure a été approfondi après la crue de 2 septembre 1979.

Du fait de mauvaise qualité des données d'observation et pour le but de corriger et combler la série de mesure, la méthode analogique est la plus utilisée en hydrologie.

Les données de la station de Foum ELGHORZA du bassin versant de Oued ELABIOD sont les plus convenables à cette méthode; car les deux bassins versants sont les plus proches; appartient au grand bassin versant de CHOTT MELGHIR.

Ils ont presque les mêmes conditions naturelles et géométriques; qui sont consignées dans le tableau suivant :

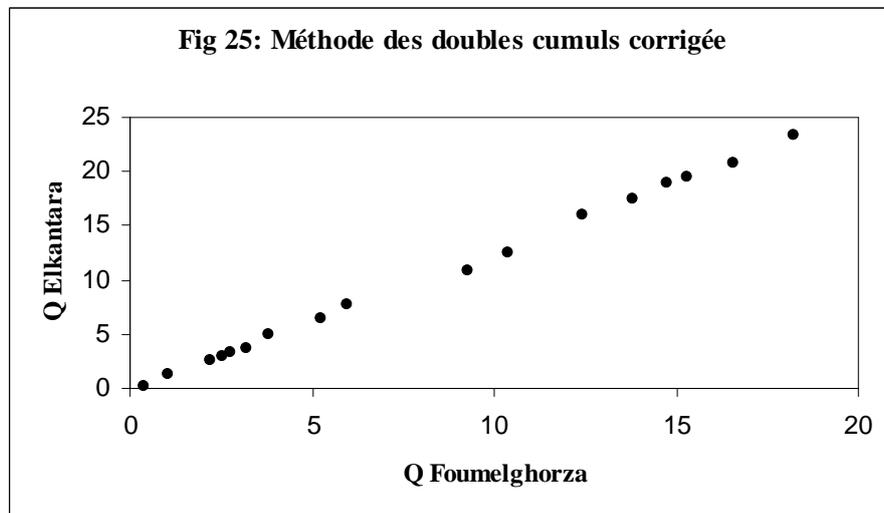
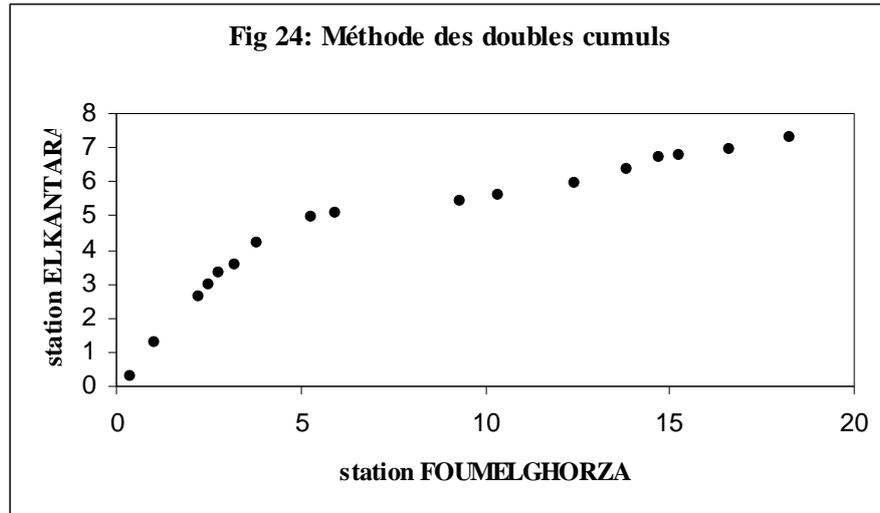
Bassin versant	Surface (Km ²)	Périmètre (km)	P (mm)	H _{max} (m)	H _{im} (m)	H _{moy} (m)	Ig (m/Km)	Tc (h)
O.EL-HAI à El-kantara	1170	150	360,6	2091	520	1175,1	15,9	11,47
O.ABIOD à Foum Elghorza	1050	160	303,8	2091	800	1490	16	11,74

La durée d'observation de O.Abiiod à Foum EL-GHORZA est de 23 ans (68 – 91).

1. Contrôle et comblement des lacunes :

1-1. méthode des doubles cumuls :

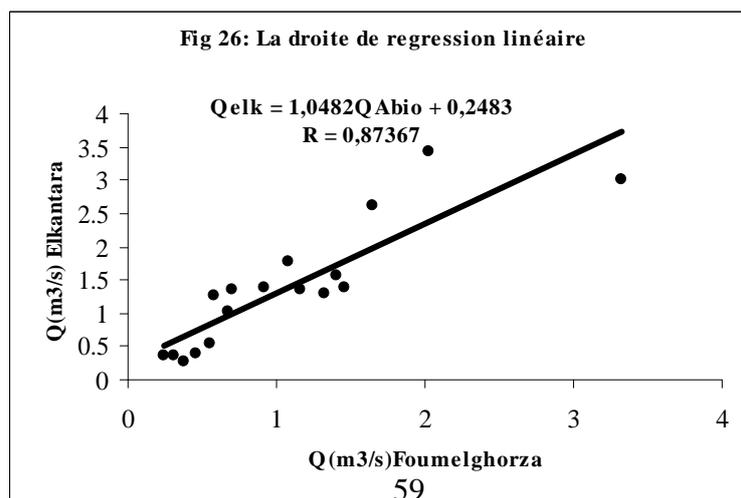
La fiabilité de la relation $Q = f(H)$ à été perdue après la crue de 1979. Donc la série (68-79) nous servira de base pour corriger la série ultérieure (80-91) Voir Fig N°24 et Fig N°25, les tableaux dans l'annexe.



1-2. Corrélation et régression linéaire :

Pour combler les lacunes d'observations, la régression qui a été faite entre les séries communes (Fig N°26), présentées par un coefficient de corrélation de l'ordre $R = 0,87$, ce qui nous permet de combler les lacunes annuelles de la station d'El-kantara avec l'équation :

$$Q_{HAI} = 1,0482 Q_{ABI} + 0,2483$$



Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau (voir l'annexe), pour les lacunes mensuelles nous avons utilisé la méthode des rapports.

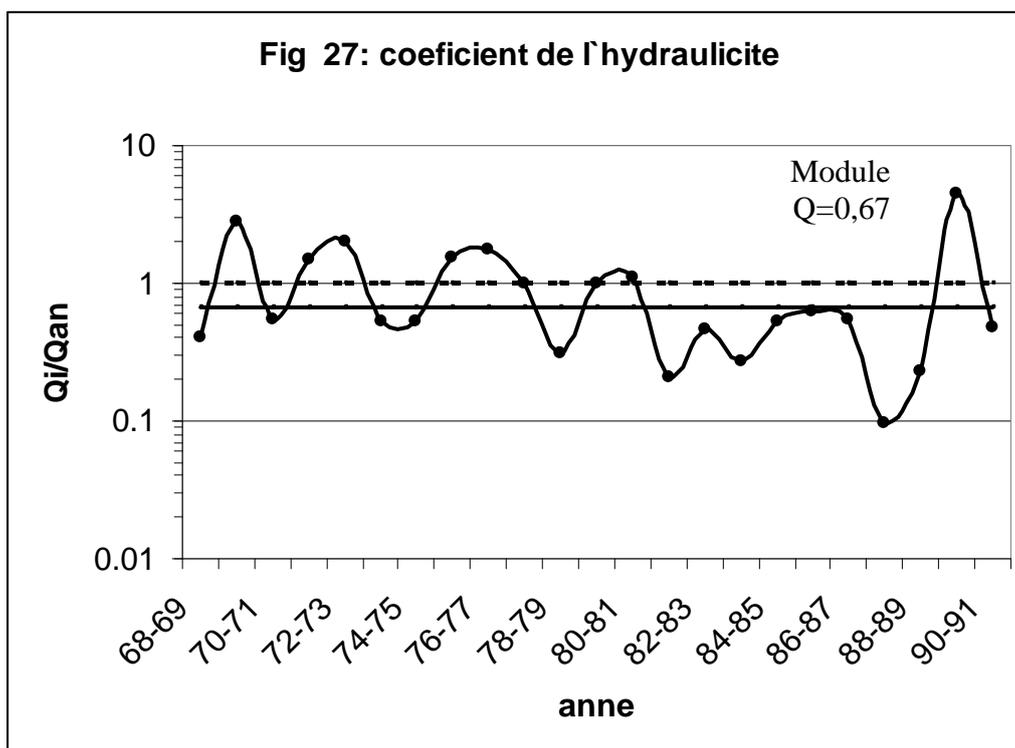
2. L'irrégularité interannuelle :

L'irrégularité interannuelle peut être expliquée par la variation de l'hydraulicité, c'est-à-dire le rapport du débit moyen d'une année particulière Q_i au débit moyen de la série d'observation Q_{moy} .

Tableau 26 : L'irrégularité interannuelle des débits de la Station El-kantara (68-91)

Année	Q_{moy} (m ³ /s)	Q_i/Q_{an}
68-69	0,27	0,40
69-70	1,87	2,80
70-71	0,37	0,55
71-72	1,01	1,51
72-73	1,36	2,03
73-74	0,35	0,52
74-75	0,35	0,52
75-76	1,04	1,55
76-77	1,20	1,78
77-78	0,67	0,99
78-79	0,21	0,31
79-80	0,67	1,00
80-81	0,74	1,10
81-82	0,14	0,21
82-83	0,31	0,47
83-84	0,18	0,27
84-85	0,36	0,53
85-86	0,42	0,62
86-87	0,37	0,56
87-88	0,06	0,10
88-89	0,16	0,23
89-90	2,99	4,46
90-91	0,32	0,47
Moy	0,67	1,00

Sur 23 ans d'observation, ils existent 8 ans humides où la valeur de l'hydraulicité est supérieure à 1 et 15 ans secs avec des valeurs inférieurs à 1 (voir Fig N°27 et tableau N°26).



L'amplitude entre les valeurs extrêmes de l'hydraulicité peut atteindre 4,36 d'où l'année 89-90 présente la valeur maximale de 4,46 et l'année (87-88) avec une valeur minimale de 0,1, dans une série de 23 ans; ces derniers expriment bien les fortes fluctuations des débits d'une année à l'autre.

3. L'irrégularité intermensuelle et régime saisonnier :

Les variations intermensuelles peuvent être expliquées par les critères statistiques simple tel que l'écart type et le coefficient de variation, ou par le coefficient mensuelle des débits (CMD).

3-1. Variations intermensuelle des débits :

Tableau 27 : variations intermensuelle des débits station El-kantara (69-91)

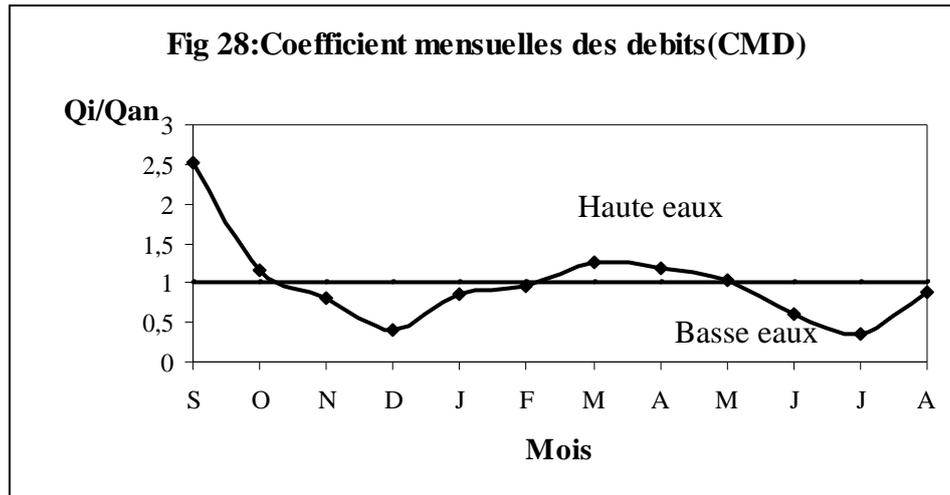
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
Q(m³/s)	1,68	0,77	0,53	0,27	0,57	0,64	0,84	0,79	0,69	0,41	0,24	0,60
Ecart - type	2,25	2,01	0,68	0,26	1,01	0,75	0,76	0,97	1,79	0,60	0,41	1,93
CV	1,34	2,60	1,28	0,96	1,79	1,16	0,91	1,23	2,57	1,45	1,71	3,24

A partir des calculs qui ont été faits dans le tableau N°27, on peut constater que le mois d'octobre représente une forte variabilité et le mois de Mars la plus faible.

3-2- Le coefficient mensuel des débits CMD :

Tableau 28 : Coefficient mensuelle des débits station El-kantara (68-91)

	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Anne
Qmoy	1,68	0,77	0,53	0,27	0,57	0,64	0,84	0,79	0,69	0,41	0,24	0,60	0,67
CMD	2,51	1,16	0,80	0,41	0,85	0,96	1,25	1,18	1,04	0,62	0,36	0,89	1



L'analyse des résultats du tableau N°28 et Fig N°28; montre que la période des Hautes eaux va de Octobre et de Février à Mai de Septembre à période des Basses eaux est entre Novembre à Janvier et de Juin à Août.

3-3- Le régime saisonnier des écoulements :

A l'échelle saisonnière le sous bassin Amont est caractérisé par des écoulements irréguliers (voir tableau N°29), où les écoulements d'Automne constituent 37,17%; c'est la même chose trouvée pour les précipitations; ces dernières tombent sous forme d'averses. Par contre dans le printemps, les sols sont saturés par l'humidité pendant la saison précédente (hiver) et les écoulements peuvent dépasser 28,88%. L'automne et l'été caractérisés par des forte variabilité, par conséquent l'hiver et le printemps sont moins de variabilité.

Tableau 29 : L'écoulements saisonnière

	Automne	Hiver	Printemps	Été	Anne
Q(m3/s)	2,99	1,48	2,32	1,25	8,04
%	37,17	18,42	28,88	15,55	100

Dans ce cas, la dynamique des matériaux est plus active pendant l'Automne et le printemps.

En général, les écoulements intermensuels de Oued EL-HAI à El-Kantara se caractérisent par un régime irrégulier ; produit par des pluies orageuses.

4. Etude des débits maximaux instantanés :

L'intérêt à attendre par cet élément, est que les crues sont le produit des averses de forte intensité, où la vitesse des précipitations dépasse la vitesse d'infiltration. Avec l'abondance des pentes fortes, la vitesse des écoulements devient très importante et donc une dynamique d'érosion intense. en particulier les formes d'érosions linéaires, notamment le sapement latéral et l'érosion régressive. C'est-à-dire les crues sont des écoulements exceptionnels caractérisés par une forte énergie qui peut transporter une quantité importante des matériaux arrachés de différent taille.

4-1. Ajustement des débits maximaux instantanés :

Dans ce contexte, nous avons sélectionné les débits maximaux instantanés supérieurs à 20 m³/s; selon la méthode de DEMMEK (1982).

Des essais d'ajustement avec différentes lois statistiques, l'échantillon des débits Max instantanés de 17 éléments caractérisés par 14 crues d'Automne, 2 d'Eté et une de Printemps, s'ajustent avec la loi de FRECHET ; c'est une loi exponentielle et s'écrit comme suit:

$$F(Q) = e^{-e^{-U}}$$

: variable réduite de GUMBEL égale à : $U = \frac{\text{Log}(Q - Q_a) - S}{\delta} = -\text{Ln}(-\text{Ln}(1 / F(Q)))$

Où :

$$S = \text{Log}(Q - Q_0) - 0,577\delta \quad \text{Et} \quad \delta = 0,78\text{Log}(Q - Q_0)$$

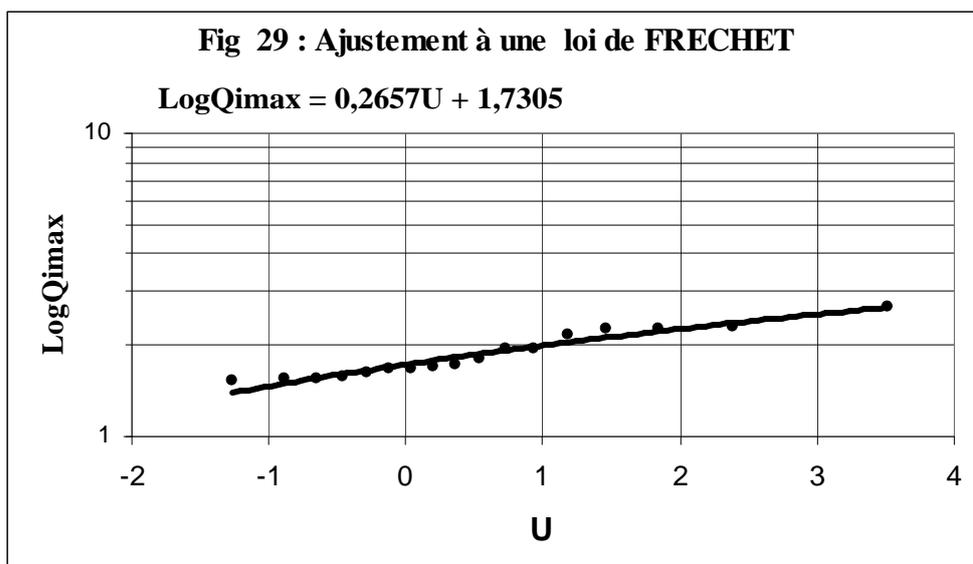
Enfin la loi de FRECHET s'écrit : $\text{Log}Q = U * \delta + S$

L'intervalle de confiance se fait comme la formulation établie pour la loi de GUMBEL.

Le tableau N° 30 conclue les étapes d'application de la loi de FRECHET, ensuite on reporte les points sur papier GUMBEL (**log-log**) Fig N°29, et l'équation d'ajustement est: $\text{Log}(Q_{i_{\text{Max}}}) = 0,2657 u + 1,7305$.

Tableau 30 : Ajustement à une loi de FRECHET

date	Qimax	ordre	Fi	U(Gumbel)	Log(Qimax)
25/09/1980	33,03	1	0,03	-1,26	1,52
07/11/1992	35,44	2	0,09	-0,89	1,55
08/10/1983	35,7	3	0,15	-0,65	1,55
10/10/1984	38	4	0,21	-0,46	1,58
07/10/1985	42,6	5	0,26	-0,28	1,63
09/11/1971	47,34	6	0,32	-0,12	1,68
06/08/1990	47,8	7	0,38	0,04	1,68
14/05/1978	48,8	8	0,44	0,20	1,69
22/12/1981	51,985	9	0,50	0,37	1,72
22/09/1989	64,41	10	0,56	0,54	1,81
08/09/1988	88,06	11	0,62	0,73	1,94
06/07/1987	91,05	12	0,68	0,94	1,96
30/09/1986	147	13	0,74	1,18	2,17
29/09/1970	182	14	0,79	1,47	2,26
31/10/1982	182	15	0,85	1,84	2,26
01/10/1969	196,4	16	0,91	2,38	2,29
02/09/1979	467	17	0,97	3,51	2,67



et le tableau N°31; montre les $Q_{i_{\text{Max}}}$ estimée de différentes périodes de retour.

Tableau 31 : Débit max instantané de différente fréquence

T (an)	2	5	10	50	100
F	0,5	0,8	0,9	0,98	0,99
U	0,37	1,50	2,25	3,90	4,6
LogQf%	1,829	2,129	2,328	2,767	2,953
Qf%(m³/s)	67,45	134,59	212,81	584,8	897,43

4-2-Intervalle de confiance :

% d'un α s'exprime en fonction de l'écart type dx à un degré de liberté quantile Q_F comme suit :

$$Q_F - h_1 * d < Q_F < Q_F + h_2 * d$$

Où : h_1 et h_2 sont des paramètres dépendant de la taille de l'échantillon, la % α fréquence F et la valeur de

h_1 et h_2 sont évaluée par la méthode arithmétique de Bernier et Verou est la suivante :

$$h_1, h_2 = \frac{\frac{U_\alpha}{\sqrt{N}} * \sqrt{1 + 1,13U_F + 1,1U_F^2} \pm \frac{U_\alpha^2}{N} * (1,1U_F + 0,57)}{1 - 1,1 * \frac{U_\alpha^2}{N}}$$

Pour h_1 on utilise le signe (-) et h_2 (+).

: variable réduite de gauss correspondant à la FND = $1 - (1 - \alpha) / 2$. U_α

$$U_F = \frac{-\ln(-\ln(F) - 0,577)}{1,28} \text{ Et}$$

Les résultats des calculs de l'intervalle de confiance avec un seuil de probabilité de 95% pour les débits max instantanés (IC = 95%) du tableau N°32 sont illustrés dans la Fig N°30, avec les paramètres au-dessous .

FND = 0,975, FD = 0,025.

$$U_\alpha = 1,96$$

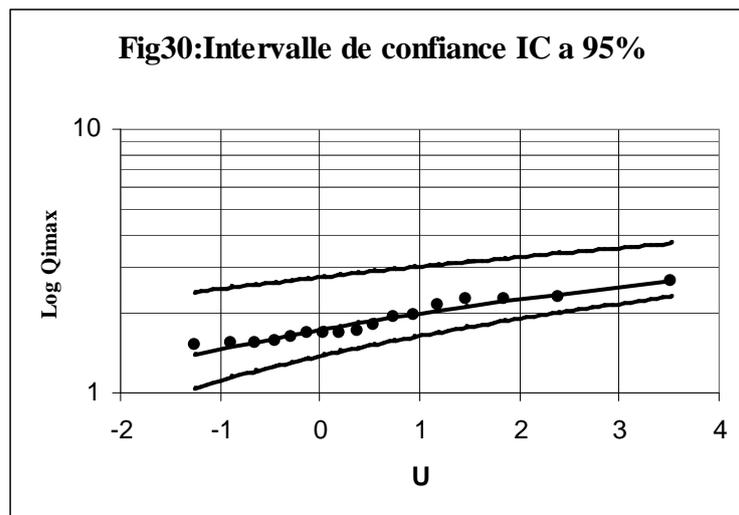
$$U_F = 2,42$$

$$\text{Log} Q_{i \max} = 1,88$$

$$\delta \log Q_{i \max} = 0,34$$

Tableau 32 : L'intervalle de confiance IC95%

valeur expérimentale	valeur théorique	borne inférieure	borne supérieure
1,52	1,40	1,04	2,41
1,55	1,49	1,14	2,51
1,55	1,56	1,20	2,57
1,58	1,61	1,26	2,62
1,63	1,65	1,30	2,67
1,68	1,70	1,34	2,71
1,68	1,74	1,39	2,75
1,69	1,78	1,43	2,79
1,72	1,83	1,47	2,84
1,81	1,87	1,52	2,89
1,94	1,92	1,57	2,94
1,96	1,98	1,63	2,99
2,17	2,04	1,69	3,05
2,26	2,12	1,77	3,13
2,26	2,22	1,87	3,23
2,29	2,36	2,01	3,37
2,67	2,66	2,31	3,67



A titre indicatif, nous avons calculé la durée de récurrence de la crue exceptionnelle de Septembre 1979.

$$F(Q) = e^{-e^{-u}} = 0,971216$$

$$\Rightarrow T = \frac{1}{1-F} = \frac{1}{1-0,971216} = 34,74 \approx 35 \text{ ans}$$

Les $Q_{i \max}$ devraient être ajustés avec les débits maximaux journaliers ($Q_{j \max}$); mais le nombre des prélèvements est insuffisant (2 à 3 prélèvement par jour) durant les crues.

4-3- Hydrogramme de Crue :

Le choix est tombé sur la crue exceptionnelle d'automne le 02/09/1979 avec un débit max instantané de $467 \text{ m}^3/\text{s}$. et d'après la méthode de DEMMEK :

Le débit moyen journalier égale à la : $\sum Q_i/24$, a Condition qu'il existe un nombre des prélèvements pour chaque demi heure pendant le temps de monter T_m , et au minimum une seule à la pointe ($Q_{i \max}$) et chaque une heure pendant la descente T_d .

Ici les caractéristiques des prélèvements de la crue exceptionnelle :

$T_m = (12^h : 45 \text{ à } 15^h : 30) = 3^h : 45$, nombre $N = 02$ fois.

$T_d = (15h:30 \text{ à } 19h: 00) = 1h: 30$, nombre $N = 3$ fois

Le débit à $19^h : 00 = 124,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

$Q_{j \max} = 50,13 \text{ m}^3/\text{s}$. (avec $n=5$).

C'est pour cette raison nous avons utilisé la méthode de l'hydrogramme triangulaire de SOKOLOWSKY, pour réaliser l'hydrogramme de crue de 02 septembre 1979.

$Q_{j \max} = 467 \text{ m}^3/\text{s}$.

$T_m = T_c = 11,47$ heure.

$T_d = C * T_m = 28,67$ heure.

C : coefficient de forme d'hydrogramme dans notre cas $C = 2,5$ (d'après Socolowsky ; C varie entre 2 et 2,5 dans les bassins dénudés).

La durée de la crue égale à 40,14 heure (Fig N°31).

Et:

$$Q_{T_m} = Q_{i \max} * \left(\frac{t}{t_m} \right)^2$$

$$Q_{T_d} = Q_{i \max} * \left(\frac{t_d - t}{t_d} \right)^3 \quad \text{où :}$$

Q_{t_d} : débit instantané en instant t (la décrue).

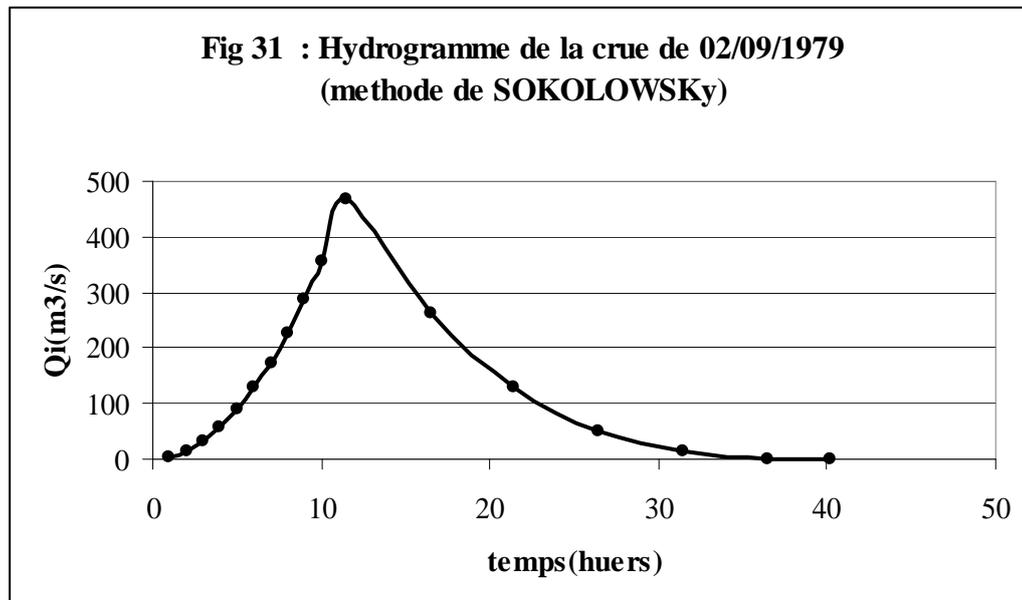
Q_{t_m} : débit instantané en instant t (pendant la crue).

Les résultats sont notés dans le tableau suivant :

Tableau 33 : Hydrogramme de crue de 02/09/1979

Tm (h)	1	2	3	4	5	6
Q (m3/s)	3,5497	14,199	31,947	56,795	88,742	127,79
Tm (h)	7	8	9	10	11,47	
Q (m3/s)	173,93	227,18	287,52	354,97	467	
Td (h)	16,47	21,47	26,47	31,47	36,47	40,14
Q (m3/s)	262,8	128,96	50,622	12,915	0,9796	0

L'augmentation rapide des débits revient essentiellement à l'intensité des précipitations et les caractéristiques physiques de sous bassin amont, le planimétrage de l'hydrogramme a donné un volume de 51,32 Hm³; ce qui représente la capacité du barrage de Fontaine des Gazelles.



La puissance de la crue d'après Meyer- Coutagne – Parde

Où :

$Q_{i\max}$: débit maximum instantané (m³/s).

S : surface réceptrice du B.V (km²)

$$A = 11,46.$$

$$A = \frac{Q_{i\max}}{\sqrt{S}}$$

Cette valeur reflète bien la force de la crue de 1979.

5. Evaluation de la lame d'eau écoulee :

L'évaluation de la lame d'eau écoulee dans le bassin versant de oued El-Hai par les formules empiriques.

1. Formule de SAMIE :

$$Le = 0,784 (P_0 - 0,232)^2.$$

Où :

Le : lame d'eau écoulée en mm.

P₀ : précipitation moyenne annuelle du bassin versant en mm/an.

2. Formule dite ALGERIENNE :

$$Le = P_0 (1 - 10^{-KP_0}).$$

Le : lame d'eau écoulée (mm).

P₀ : lame d'eau précipitée (mm).

K : coefficient dé pondent de la surface du bassin versant (Km²)

K: 0,18 -0,01 ln A (Amont K = 0,109, Aval K= 0,118).

3. formule de Sogrèah :

$$Ec = 720 (Pa - P_0/1000)^{1,85}$$

Pa : lame d'eau moyenne précipitée en mm.

P₀ = 250 Si 1600 > Pa > 318.

et p₀ = 150 Si 318 > Pa > 150.

et Ec = 5mm Si Pa < 150.

4. Formule de COUTAGNE :

$$Le = P(0,164 - 0,00145 * \sqrt{S}) .$$

P : précipitation moyenne annuelle en mm

S : superficie du bassin versant en Km².

5. Formule CHAUMONT :

$$Ce = 0,6(1 - 10^{-0,36P^2}) \text{ et } Ec = Ce \cdot Pan$$

Ce : coefficient d'écoulement (%).

Pan : précipitation moyenne annuelle (mm).

Ec : lame d'eau écoulée (mm)

Le débit moyen annuel est obtenu après l'application de relation :

$$\frac{Qm^3/s}{T} = \frac{Ec * 10^{-3} * S * 10^6}{T} = \frac{Ec * S * 1000}{T} = \frac{Ec * S}{31536}$$

: lame d'eau écoulée en mm Ec

S : surface de bassin versant en Km².

T : nombre de seconde dans l'année = 31 536 000 s.

Les résultats sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 34 : récapitulatif de Le et Q du bassin versant de O EL-HAI(74-2004)

Formule	Sous bassin Amont		Sous bassin Aval		Bassin versant	
	Le (mm)	Q _{m³/s}	Le	Q	Le	Q
Samie	12,96	0,481	/	/	5,323	0,28
Algerienne	11,61	0,43	2,29	0,0356	07,48	0,394
Sogreah	12,28	0,455	3,25	0,051	25,51	1,34
Coutagne	41,25	1,53	26,9	0,418	23,98	1,736
Chaumont	22,11	0,820	4,15	0,06	14,84	0,781
Tixeront	18,05	0,669	2,58	0,04	13,48	0,709
Série d'observation	18,05	0,67	/	/	/	/

Remarque : la lame d'eau de la série d'observation et le débit des estimations de la lame d'eau se calculent de la façon suivante :

$$Le = \frac{Q}{S * 31536} \quad \text{Et} \quad Q = \frac{Le * S}{31536}$$

Les résultats de tableau montrent une adéquation entre les valeurs mesurés et celles calculées par la formule de Tixeront.

6. Evaluation de l'apport liquide :

Selon les valeurs de Tixeront l'apport est de :

$$\text{- Sous bassin amont } Va = Q * 31536 = \frac{Ec * S}{1000} = 21,13 \text{ hm}^3$$

.Va = 1,26 hm³ - Sous bassin aval

Va = 22,39 hm³ Pour le bassin versant de Oued El-Hai, l'apport moyen annuel :

Alors, que le sous bassin Amont participe par (94,37%) de l'apport moyen annuel du Bassin versant de Oued El-Hai ; et donc on peut dire que la plus grande quantité des sédiments piégé dans le barrage est transporté par les écoulements qui vient de la partie Amont de la zone d'étude

Finalement, l'apport liquide estimé à 22,39 hm³, à titre comparatif l'apport moyen estimé dans l'étude du barrage de fontaine des gazelles est de l'ordre de 25,6 hm³ et Q = 0,81 m³/s, la lame d'eau écoule de l'ordre de 15,12 mm/an.

7-Utilisation des données hydrologique du Barrage :

Le bilan de 4 ans de mise en eau du barrage de Fontaine des gazelles ; nous donne une idée sur la période récente (2000-2004).

Après, on transforme les apports mensuels aux débits mensuels avec la relation :

$$Q_{m^3/s} = \frac{V(Hm^3)}{T(s)} = \frac{V * 10^6 (m^3)}{T(s)}$$

Où :

Q : débit moyen mensuel en m³/s.

V : Apport mensuel en Hm³.

T : nombre de seconde du mois (259 20001) pour un mois de 30 jours.

Ainsi que pour le calcul de débit moyen annuel, l'apport, et la lame d'eau écoulée, le tableau au dessous conclue les résultats :

Année	Q (m ³ /s)	Ec (mm/an)	Apport (hm ³)
2000-2001	0,03	0,54	0,92
2001-2002	0,14	2,75	4,50
2002-2003	0,96	18,31	30,76
2003-2004	1,66	31,57	52,69
Moy	0,70	13,29	22,22

A titre comparatif avec les résultats obtenues précédent et celle des 04 ans dans le bassin versant de Oued El-Hai :

Périodes	Q (m ³ /s)	Ec (mm/an)	Apport V (Hm ³)
68-91 S. B. Amont + estimation (S.B. Aval)	0,709	13,48	22,3768
2000-2004 (B.versant)	0,700	13,20	22,22
Ecart (récent/ ancien)	0,987	0,979	0,99

Les écarts observés entre les paramètres hydrologiques des deux périodes sont faibles; donc on peu dire que la période (2000-2004) représente les même variations de la série ancienne (23ans), l'année la plus humide est celle de

(2003-2004) avec un débit de 1,66 m³/s et une autre la plus sèche est celle de (2000-2001) où le débit diminue jusqu' à 0,03m³/s, c'est la raison pour laquelle on trouve presque les mêmes valeurs.

Conclusion :

En gros, le régime hydrologique du bassin versant de Oued El-Hai se caractérise par l'irrégularité d'un mois à l'autre, et d'une année à l'autre exprimée par les fortes valeurs de variations.

En général, les crues de fortes puissances d'automne et de printemps sont produites par des averses violentes ; qui caractérisent le climat semi aride et aride, dans ses conditions ; on peut prévenir que le transporter des matériaux arrachés devient très important, surtout de la partie Amont.

L'apport moyen annuel estimé à 22 hm^3 ; avec une lame d'eau écoulée de 13 mm/an et un débit moyen annuel à $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ pour la période de 1974-2004.

Pour mieux comprendre le mécanisme de l'érosion ; il est nécessaire de joindre les facteurs du milieu physique avec l'action anthropique.



Chapitre IV
Action anthropique

Introduction :

L'homme est responsable de toutes actions nuisibles du milieu naturel ; par la création d'un déséquilibre de l'écosystème, avec ses mauvaises interventions. Le diagnostic de l'impact humain exige au début un aperçus socio-économique.

1- APERCUS SOCIO-ECONOMIQUE :

a- Les habitats:

Nous sommes basés sur le recensement effectué par le O.N.S (office national des statistiques) en 1998. La population qui occupe le bassin versant consigne dans le tableau N°35.

Tableau 35 : la population du Bassin versant de Oued El-Hai

Sous bassin		Agglomération	Population éparsé	Nomades	TOT	(%)	Densité (H/Km ²)
Amont	N	56876	6944	09	63829	84,55	54,55
	%	89,11	10,87	0,02	100%		
Aval	N	9154	2434	80	11668	15,45	24,8
	%	78,45	20,86	0,69	100		
total	N	66030	9378	89	75497	100	45,48
	%	87,46	12,42	0,12	100		

Source : office national des statistiques O.N.S, 1998.

Le nombre totale des habitants du bassin versant de Oued El-Hai est 75497hab; dont 12,42% de population éparsé et 87,46% regroupé dans les chefs lieu de commune.

La densité de population du sous bassin amont est estimée à 54,55 H/Km², ce qui conjugue la pression démographique en partie amont, par apport au sous bassin aval où la densité est de l'ordre de 24,8 H/Km².

b- Les activités économiques :

Récapitulées dans le tableau N°36.

Tableau 36 : les activités de population du Bassin versant de Oued El-Hai

Sous bassin		Agriculture	Autre	Chômage	Non actif	TOT
Amont	N	530	7336	36814	19148	63829
	%	0,85	11,49	57,67	29,99	100
Aval	N	226	2029	5796	3617	11668
	%	1,95	17,39	49,67	30,99	100
B.V	N	756	9365	42610	22765	75497
	%	1,01	12,40	56,44	30,15	100

Source : office national des statistiques O.N.S, 1998.

D'après les données du tableau au dessus, le secteur agricole est très faible, environ de 1% dans les deux sous bassins, mais ce que nous l'avons remarqué sur terrain est totalement différent, car la majorité des citoyens qui occupent la région étudiée exercent l'agriculture sédentaire dans des petites parcelles au tours des Oueds (les Tamarins, O.Fedhala, Mâafa, El-kantara) sauf la plaine de Ain Touta où il y a la culture de céréale.

II. L'IMPACT :

A partir des sorties sur terrain, on peu conclure ce que l'action anthropique aboutissant à l'accélération des processus d'érosion suivants :

1- Le surpâturage : On constate que l'élevage est l'activité la plus fréquentes d'après les statistiques des autorités au dessous :

Tableau 37 : l'élevage dans le bassin versant de O. El-Hai

Sous Bassin	OVIN	BOVIN	CAPRIN	TOTAL
AMONT	6105	357	4369	10831
AVAL	28000	293	7650	35943
TOTAL	34105	650	12019	46774

Source : Directions des services agricoles (Batna et Biskra) 2003.

Le nombre des troupeaux n'est pas fixé ; il varie selon les années et les saisons, ainsi que la zone d'étude constitue une zone de transition par laquelle les nomades passent entre l'été et l'hiver.

Dans ce cas, l'impact de surpâturage est caractérisé par :

- Pâturage traditionnel non amélioré, diminuant la partie herbacée
- Le changement des caractéristiques physiques des sols, due au tassement causé par le passage répété des troupeaux, les sols devient imperméables ce qui favorise l'écoulement de surface.

2- Défrichage de la forêt :

Caused par l'abaissement des températures pendant l'hiver qui est souvent très froid .Le déboisement est en générale dans les zones ruraux ; où il n'y a pas de moyens pour s'échauffer ; et d'autre part la situation socio-économique de la population éparses, et sont esprits de vie traditionnelle.

Toutes ces conditions font reculer la forêt d'une année à l'autre.

3-Effet des carrières et la cimenterie de Ain Touta :

Nous n'avons pas trouvé de documentation concernant cet élément sauf un rapport de l'environnement qui parle sur un rayon de pollution de 30 Km de la cimenterie, où la poussière est transportée par le vent sur le long du couloir climatique Ain Touta -Batna, la décantation des éléments fins a un effet nuisible sur les plantes et les sols.

L'excès de la poussière de calcaire (carrière) provoque un assèchement biologique des sols (absence des plantes autour des carrières ; sauf quelque xérophyte).ainsi que l'augmentation de PH du sol (Ca^{++}) et la densité des écoulements surtout pendant les pluies Orageuses. (Voir planche 3 photos g).

4- Les déchargements solides dans les ravins:

On a remarqué des centaines de tonnes de sol nivelé pendant la réalisation de l'autoroute Batna -Ain Touta qui ont été déchargées le long de Oued Tilatou amont surtout dans la région dite Ras Elma et d'autre déchet solide urbain sur les ravins dans la ville de Ain Touta (voir planche 3 photo E et g).

Cette action diminue la section des ravins ; et donc le changement de leur dynamique et accélération de la vitesse, ce qui engendre l'affouillement des berges et le transport d'une plus grande quantité de sédiments devant ces gorges artificielles.

5- Les incendies :

les incendies jouent un rôle très important dans l'amélioration des processus d'érosion vers le régime accéléré. Ce qui était démontré par plusieurs chercheurs, surtout les incendies qui suivent par des pluies orageuses. et le retour à l'état du régime initial, sa demande des années de plus pour que la forêt régénère, on peut citer l'exemple du Bassin versant Ouest américain où la dégradation spécifique égale à $3,8\text{m}^3/\text{ha}$, après un incendie elle atteint $658\text{m}^3/\text{ha}$; l'orage étant responsable de $74\text{ T}/\text{ha}/\text{an}^{(6)}$.

⁽⁶⁾ Bernard .U : érosion entre la nature et la société .P226.

Planche 3 : actions anthropiques



a- risque de destruction la route N3



b- destruction du gabionnage



c- risque de destruction du chemin de fer



d- fissure des cotés de la R .N3



e- décharge solide urbaine dans un ravin



f- décharge des sols dans oued laksour

(Ain Touta)

région

Ras-elma



g- carrière près de la RN3

Après cette bref explication du rôle des incendies dans l'érosion, nous avons inscrit au premier lieu les incendies de la zone d'étude à partir de la date de mise en service du barrage de fontaine des gazelles (2000), qui est autours de 160ha pendant les 04 ans, 150 ha dans la forêt d'Oued Fedhala, le reste sont des petites incendies, et l'espèces touchée par le feu est souvent le pin d'Alep.

Par contre, la période (1985 – 1999) a connu l'élimination de 16 18,93 ha surtout a oued Fedhala des espèces de pin d'Alep, chaîne vert, Genévrier et Alfa. L'age des espèces varie de 26 à 100 ans.

6- Les travaux de lutte contre l'érosion :

Les techniques d'aménagement mal étudiées ou mal réalisées, provoquent l'accélération des processus d'érosion, ainsi les risques de destruction de la route nationale numéro 3 dans plusieurs sites et le chemin de fer (Voir planche 3).

III. LES FORMES D'EROSION :

C'est le résultat de combinaison des facteurs qu'ont été examiné précédemment exprime certaines formes qui reflètent le degré de dégradation du bassin versant. La réalisation d'une carte des formes d'érosion est difficile car la zone d'étude est très vaste, là nous avons suffisamment pris des photos sur les formes remarquées sur terrain, elles sont les suivantes :

1-l'érosion en nappe : est un décapage superficiel des terres tendres surtout agricoles lié à l'effet destructif des pluies et de ruissellement en nappe.

2-L'érosion linéaire : causée essentiellement par les écoulements concentrés des eaux. L'énergie d'écoulements marque des modifications sur les terrains meubles ; sous forme de ravins de différentes dimensions ; sur le quel on distingue :

2-1- Les ravins : Ce sont des anciens rigoles qui continuent de s'approfondir, elle peuvent arriver à 1 mètre, occupent surtout les terres agricoles où les terres abandonnées.

2-2- les ravins : des ravins de profile en V; la profondeur peu arrive à dizaine de mètre, en cherchant un profil de stabilité, ce type se situe dans les zones à dominance des formations meubles; sur les piédmons et les plaines.

2-3- les badlands : la phase finale de la dégradation du milieu naturel, on peu les définir comme un groupement de ravins embrassant séparés par des crêtes d'intèrfluve aigues, ce type situe à Mâafa et au nord du barrage.

3-L'érosion par mouvement de masse :

Se présente essentiellement sous formes :

3-1- Mouvement humide : causé par les écoulements, le sapement latérale ; provoque un état de déséquilibre des berges, ce qui détruite des masses de sol dans le talweg.

Ce phénomène étendu sur le long des oueds et ces principaux affluents (Oued El-Hai, Tilatou, Beni fedhala,.....).

3-2- Mouvements à sec: il existe deux types:

a- Ecoulements et chute des pierres: de volume inférieur à 1dm^3 ; qui tombent brusquement sur les versants de pente assez redressée, ce phénomène est bien remarqué dans la zone d'étude surtout entre les tamarins et près d'El-kantara.

b- Ecoulement :

Les écoulements sont très dangereux, car il s'agit de gros blocs qui se détachent des hautes versants de fortes pentes, et avec leurs masses se déplacent avec une vitesse extraordinaire jusque au piedmont où ils s'éclatent, ce type est bien observé sur les bordures de Oued El-Hai et en particulier dans la demi-cluse d'El-kantara (voir planche 4).

Planche 4 : mouvement à sec sur les bordures de Oued El-Hai



a- écoulement



b- éboulement

Planche 5 : formes d'érosion linéaire



c- sapement des berges oued Tilatou



d- ravin sur terrain argileux (Ain Touta)
érosion régressive



e- érosion régressive après un ancien
barrage (Oued laksour)



f- sapement des berges de la cuvette du
barrage de Fontaine des gazelles

Conclusion :

En général, le bassin versant de Oued El-Hai se caractérise par une concentration démographique dans les chefs lieux de daïra Ain Touta et El-Kantara, l'activité la plus fréquente est l'agriculture essentiellement l'élevage (agriculture sédentaire).

L'impact des citoyens sur le milieu naturel se traduit par plusieurs phénomènes notamment les incendiés, défrichement de la forêt, et le surpâturage,.....

Ces derniers eux mêmes étés un champ favorable pour la genèse et l'évolution de différentes formes d'érosions liés aux facteurs décrits précédemment.

Chapitre V
Quantification de
l'érosion

Introduction :

L'évaluation et la prévision de l'érosion se fait souvent par des méthodes mathématiques. Mais dans les dernières années, les chercheurs sont intéressés à la localisation et la classification des degrés de dégradation dans une même unité physique à une certaine précision ; parce que la moyenne couvre toujours les valeurs extrêmes qui produisent souvent des dégâts.

A cet égard, l'utilisation des données actuelles est une nécessité absolue pour avoir une idée sur l'érosion dans la zone d'étude.

I. UTILISATION DES DONNEES DE L'ENVAISEMENT :

Le premier levé bathymétrique qui a été effectué en 2004, montre que le volume des dépôts est de 0,768 hm³ pendant 04 ans après la mise en service du barrage.

Alors, on va essayer d'estimer la perte moyenne annuelle de sols pièges dans la cuvette :

$$Ds = \frac{V_v \times T}{N \cdot S}$$

Où :

Ds : dégradation spécifique en T/Km²/an.

Vv : volume des dépôts pièges dans le barrage en m³.

T : la densité moyenne des sédiments égale à 1,6 Tonne/m³

N : nombre d'années.

S : superficie du bassin versant en Km².

Supposant que la relation entre les apports liquides et les apports solides est linéaire, on obtient la répartition annuelle de la dégradation spécifique du bassin versant de Oued El-Hai dans le tableau N°38.

Tableau 38 : Dégradation spécifique du Bassin versant de O.El-Hai (2000-2004)

Anne	Apport (hm ³)	Apport (%)	Volume des dépôts (m ³)	Masse des dépôts (tonne)	Ds (T/km ² /an)
2000-2001	0,919	1,03415	7942,294492	12707,67119	7,66
2001-2002	4,496	5,05936	38855,88252	62169,41203	37,45
2002-2003	30,76	34,6143	265837,8439	425340,5503	256,23
2003-2004	52,69	59,2922	455363,9791	728582,3665	438,91
TOT	88,865	100%	768000	1228800	185,06

Dans ce cas on trouvera les valeurs max de Ds où il y a des apports max et donc en (2003-2004) Ds = 438,91 T/km²/an, avec un apport liquide de l'ordre de 52,69hm³.

La valeur moyenne des 4 ans de dégradation spécifique ($D_s = 185,06$ T/Km²/an) est très proche de celle trouvée dans l'étude de l'ANRH 1982 ($D_s = 181$ T/Km²/an); ainsi que l'étude de DEMRH (Direction des études du milieu et de la recherche hydraulique) 1973, $D_s = 200$ T/km²/an à El-Kantara.

Mais en réalité la valeur de 185,06 T/Km²/an n'exprime pas l'apport solide moyen des 04 ans. car il y a des lâchées par la vidange de fond ($V = 16,438$ Hm³, 18%). pour raison de stabilisé la digue (en terre) surtout dans les deux dernières années (2002 – 2003) et (2003 – 2004) pendant les crues. qui permet de chasser un volume important des sédiments, le volume drainé par l'évacuateur de crue (32, 425 hm³ (36%) en (2003-2004), qui se caractérisé par une concentration moins que celle évacuée par la vidange de fond.

En somme, on peut dire que le bassin versant de Oued EL HAI au site du barrage de Fontaine des Gazelles est probablement soumis à une érosion plus que celle trouvé par les études de l'ANRH et DEMRH.

Dans ce cas et pour justifier notre hypothèse, il faut chercher une méthode plus convenable pour évaluer le risque d'érosion.

II. METHODE D'EVALUATION DE L'EROSION :

1. L'équation universelle de la perte de sol (U S L E) :

Dans cette contribution nous avons deux objectifs :

- sélectionner des zones homogènes, selon les caractéristiques intervenant dans les mécanismes d'érosion.
- La quantification de l'érosion dans chaque zone ; est basée sur des différents facteurs, qui traduit cette dynamique en milieu naturel.

Cette méthode est testée en travaux préalables en plusieurs régions du monde ; notamment pour l'application et l'adaptation du modèle de Wischmeier et Smith (1978). Aussi bien qu'à l'information cartographique disponible sur la région d'étude.

1.1. Présentation du modèle de USLE:

La formule utilisée pour évaluer la perte des sols en nappe est la suivante :

$$A = R \cdot K \cdot Ls \cdot C \cdot P$$

Avec :

A : perte moyenne en terre (T/ha)

R : facteur d'agressivité climatique.

K : facteur d'érodibilité des sols.

Ls : facteur topographique.

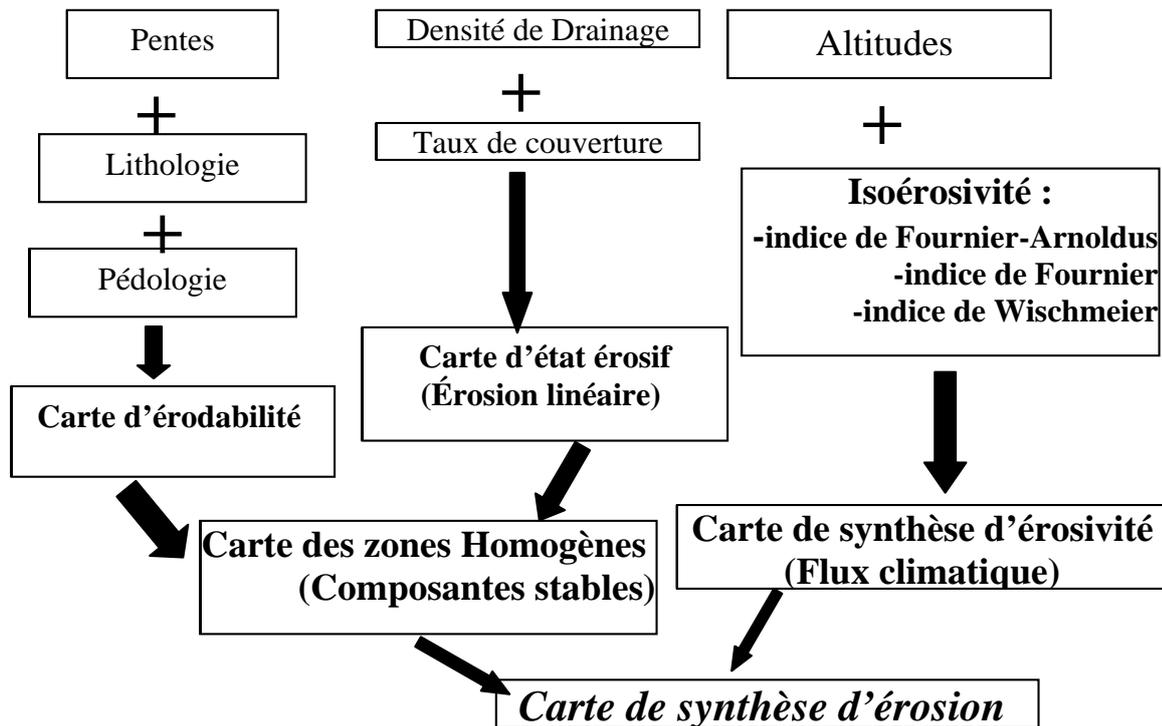
C : facteur de couvert végétal.

P: facteur de pratique de conservation de sol

1.2 Méthode d'application :

Pour l'objet d'extrapolation des paramètres de la formule universelle de la perte des sols sur le bassin versant de Oued El-Hai ; nous avons essayé de retirer des zones considérées homogènes, qui basées sur des facteurs bien distingués pour chaque versant, ensuite le calcul des paramètres du modèle de U S L E dans chaque zone.

Nous avons traité l'évaluation de l'érosion et le zonage selon l'organigramme suivant :



1.2.1-Délimitation des caractéristiques des zones homogènes :

Il n'était pas facile devant la complexité des caractéristiques du bassin versant de limiter des zones basées sur l'information cartographique comme suit :

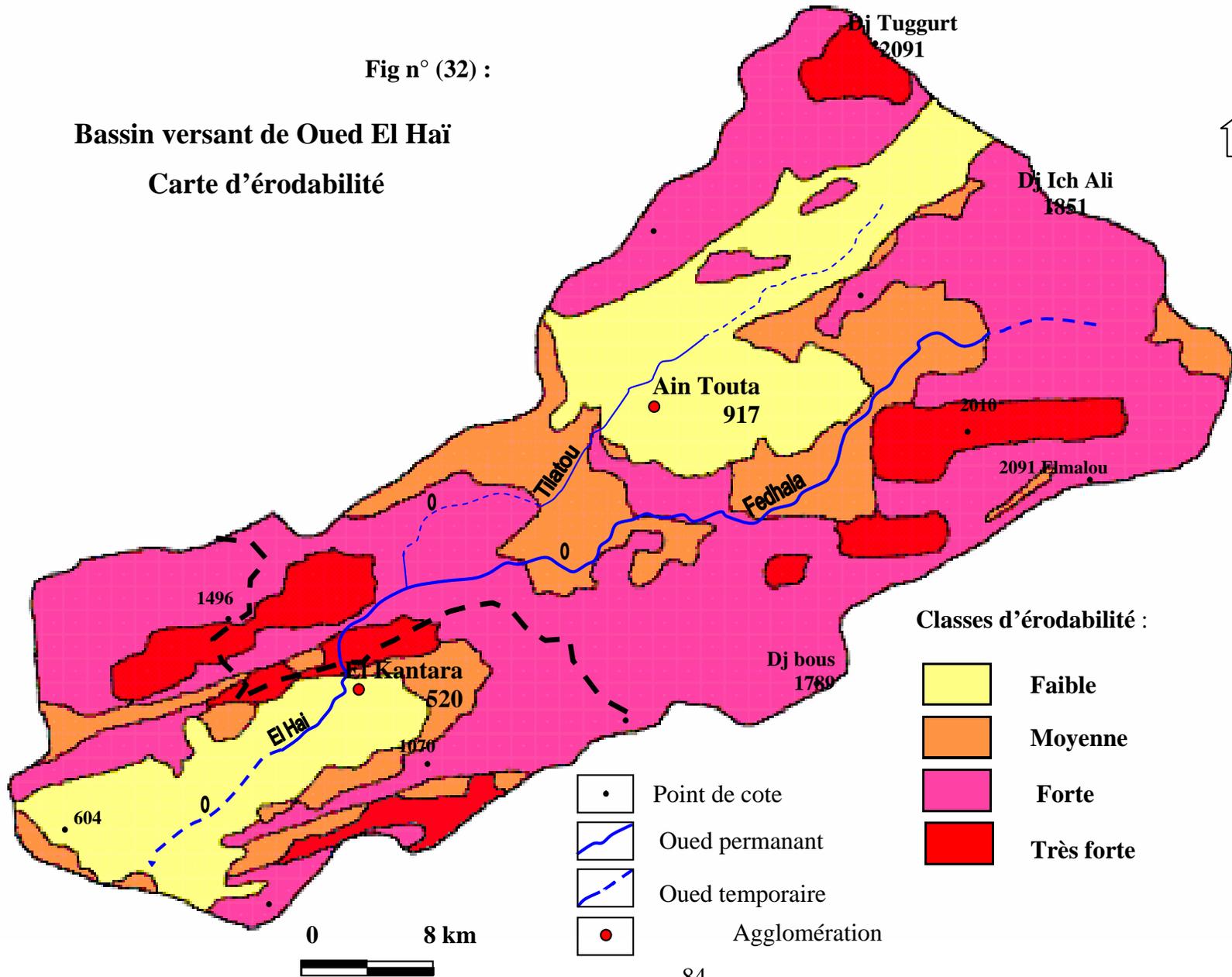
* **1^{er} étape** : réalisation d'une carte d'érodabilité (Fig N°32); qu'est le produit de la carte lithologique (résistance des formations à l'érosion) et la carte des pentes. avec la méthode suivante:

Pente / Formation	0 - 3 (+2)	4 - 12 (0)	12,5 - 20 (-2)	> 20,5 (-3)
Très résistante (+2)	+4	+2	0	-1
Résistante (0)	+2	0	-2	-3
Moyen (-2)	0	-2	-4	-5
F. meuble (-3)	-1	-3	-5	-6

Fig n° (32) :

Bassin versant de Oued El Hai

Carte d'érodabilité



Classes d'érodabilité :

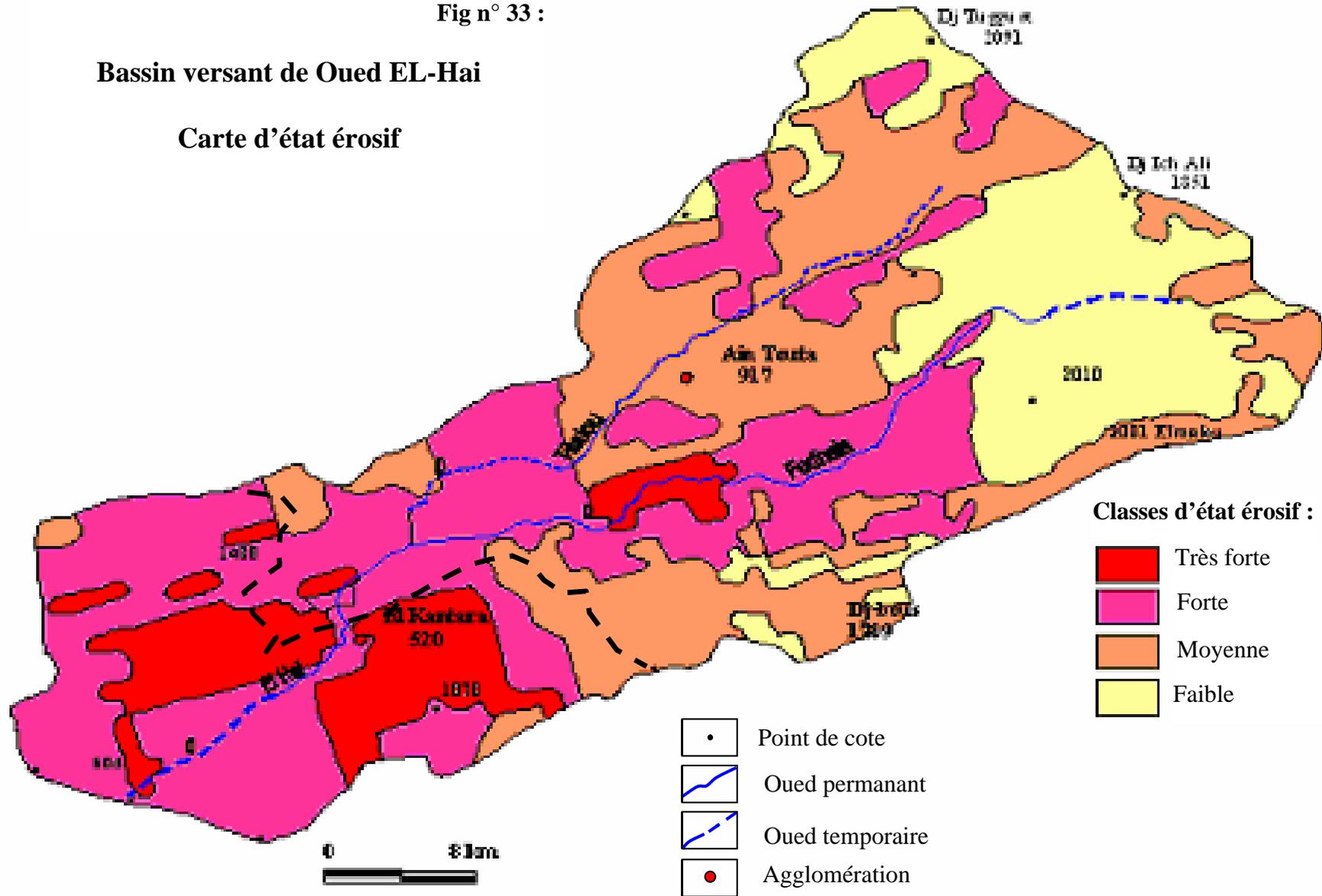
- Faible
- Moyenne
- Forte
- Très forte

- Point de cote
- Oued permanent
- Oued temporaire
- Agglomération

Fig n° 33 :

Bassin versant de Oued EL-Hai

Carte d'état érosif



A partir de ce tableau, nous pouvons ressortir les 04 classes d'érodabilité suivantes :

- Faible (+4, +2)
- Moyenne (0)
- Forte (-1, -2)
- Très Forte (-3, -4, -5 et -6)

2^{EME} étape : C'est la carte d'état de l'érosion linéaire (Fig N°33); qui est le produit de la superposition des deux cartes ; la carte de densité de ravinement (drainage) et celle de taux de protection des sols.

Le même principe pour retirer les classes d'état érosif avec la carte d'érodabilité, mais la carte de taux de protection des sols réalisée à partir de la carte d'occupation de l'espace avec les classes suivantes :

Taux de couverture	Type d'occupation
<i>Forte</i>	Forêt
Moyenne	Forêt +maquis dense, maquis clair maquis + parcours, maquis + alfa,
Faible	Couverture annuelle,
Très faible	Parcours saharien, Affleurement rocheux

Là, nous avons remarqué qu'il existe une relation renversée entre le Taux de couverture et la densité de ravinement.

3^{ème} étape : la carte final, c'est le produit des deux cartes précédentes, la carte des zones homogènes de risque potentiel de l'érosion dans le bassin versant de Oued El-Hai (Fig N°34 , tableau N°39); conclue les caractéristiques.

Donc le bassin versant de oued El-Hai comprend quatre zones où la question d'évaluation de l'érosion se pose de façon poussée.

1.2.2- Les paramètres de la formule de USLE :

Les paramètres de la formule de Wischmeier sont calculés sur les versant et généralise sur le bassin versant.

1)- Le facteur « R » agressivité des pluies :

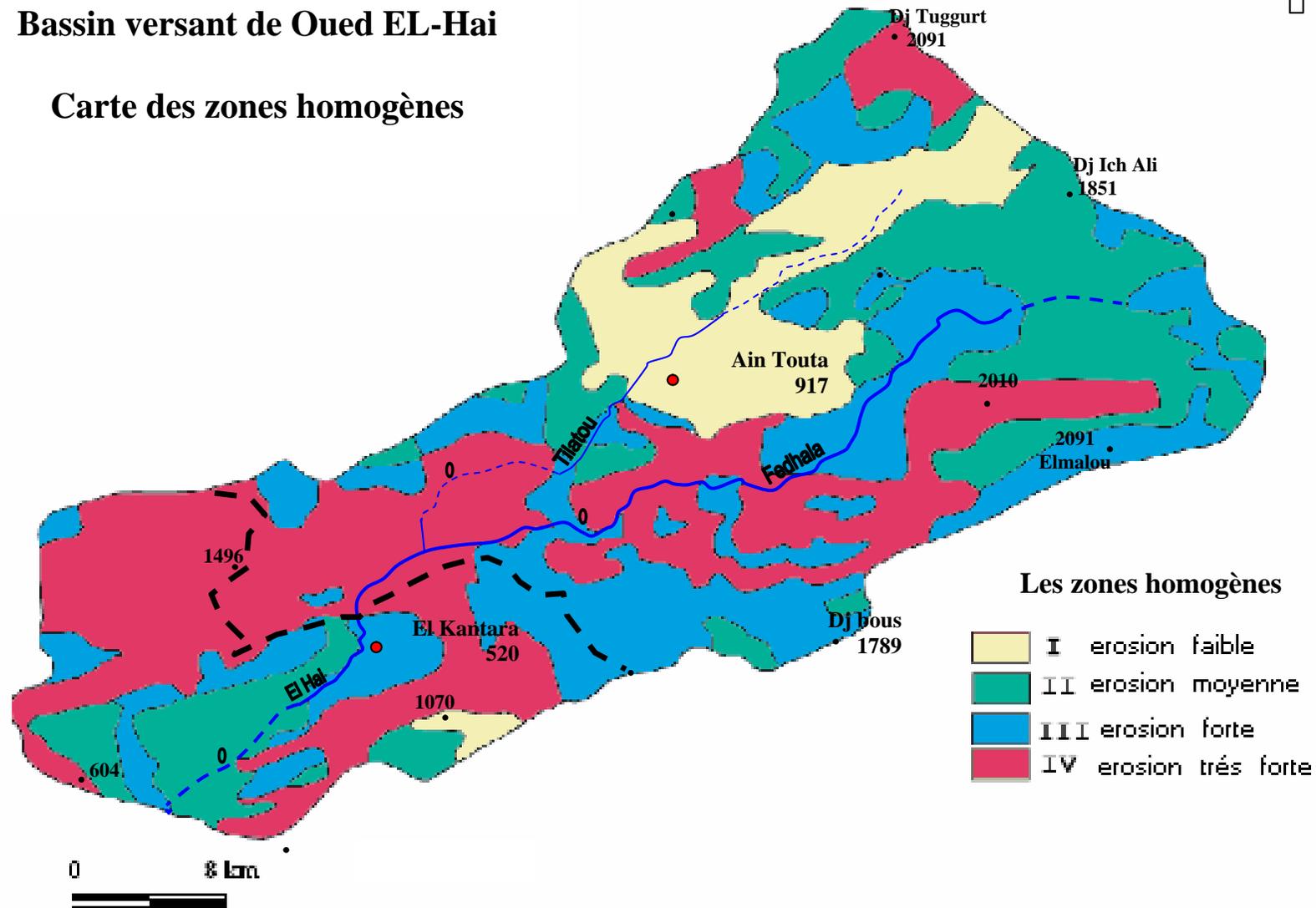
a- en la présence d'un pluviographe : On peut le défini comme étant la capacité érosive provoquée pour chaque goutte de pluie ; l'énergie cinétique d'une goutte de pluie qui met en mouvement une quantité importante des matériaux solides arrachés par le splash. Le calcul de l'énergie cinétique est très complexe, car il faudrait connaître la masse ⁽⁷⁾ et la vitesse de chute de chacune

⁽⁷⁾ La masse est évaluée à partir du diamètre de la goutte assimiler une sphère la limite supérieur de cette dimensions étant de l'ordre de 9 mm (A. FEDORFF .1964)

Fig n° 34 :

Bassin versant de Oued EL-Hai

Carte des zones homogènes



des gouttes de pluie par la relation suivante :

$$E_c = 0,5 \text{ m} \cdot V^2$$

L'énergie cinétique de chaque pluviophase est :

$$E_c = (210,3 + 89 \log I) h$$

h : hauteur de pluie de chaque pluviophase en(cm)

I : l'intensité de la pluviophase en (cm /h)

E_c : énergie cinétique unitaire de la pluviophase en T.m / ha cm

La somme des E_c donne l'énergie cinétique totale de la pluie.

Donc l'expression finale de l'indice d'érosivité de wischmeier est :

$$R = \left[\sum_{i=1}^n (210,3 + 89 * I)h \right] I_{30 \text{ max}} * 10^{-2}$$

R : en tonne .m / ha .cm/h.10⁻²

n : nombre de pluviophase

I_{30max} : intensité maximal en 30 mn en multipliée par 2 en cm / h ; pour couvrir l'intensité 1/2 heure en intensité / h (ARNOLDUS – H.M.J, 1977 ; P : 123)

Tableau 39 : caractéristique des zones homogènes du bassin versant de O.EL HAI :

Paramètre	I	II	III	IV	TOTAL
Surface (Km²)	193,09	428,48	447,42	591,01	1660
Pente moyenne (%)	2,21	7,50	10,43	14,80	8,70

Fréquence (%)

Unité

Lithologie :					
- F. meuble	75	32	25	13	36
-Résistance moyenne	19	46	41	24	33
- Résistante	5	20	5	52	21
- Très résistante.	0	2	29	11	10
Pédologie :					
Lithosols et régosols	26	63	66	66	55
Sols d'apports alluviales	0	3	6	6	5
Sols d'apports éoliens	0	12	2	2	4
Sols d'apports colluvial	30	4	0	0	9
Sols à encroûtement calcaire	44	17	25	25	27
densité de drainage :					
faible	58	45	13	8	31
moyenne	42	31	49	10	33
forte	0	24	26	56	27
très forte	0	0	12	25	9
taux de couverture :					
fort	2	27	10	11	13
moyen	11	33	60	74	45
faible	86	19	06	04	29
très faible	1	21	23	11	14

b. En l'absence d'un pluviographe :

D'après ARNOLDUS (1977), une bonne corrélation a été trouvée entre la moyenne des $E_c I_{30}$ et le produit de précipitation annuelle multipliée par les pluies tombées pendant 1 heure et 24 heures avec une période de récurrence de 2 ans dans ce sens, Wischmeier a proposé une autre formule exprimée comme suit :

$$(Guettouche.M.S, 1989, P 04). R = K * C^n$$

où:

$$C = h_1 * h_{24} * H$$

Et :

: hauteur maximale de pluie tombée en 01 heure, avec un temps de retour de 02 ans en h_1 cm.

: hauteur maximale de pluie tombée en 24 heures, avec un temps de retour de 02 ans en h_{24} cm.

: hauteur moyenne annuelle de pluie en cm. H

K et n sont des coefficients relatifs au climat (dans le climat méditerranéen).

- semi-aride à sub humide : $K = 0,751$, $n = 0,80$.
- Humide vrai : $K = 0,581$, $n = 0,83$.

2) Le facteur d'érodibilité des sols « K »:

Dans le modèle de wischmeier adopté aux conditions américaines, la sensibilité des sols à l'érosion en nappe et rigole est en fonction des propriétés intrinsèques comme la texture ; la structure, la perméabilité et le contenu en matière organique.

On peut ajouter d'autres caractéristiques comme l'humidité précédente et d'autres chimiques ; cation échangeable ...ext.

Avec l'accord de Wischmeier, Rosse (1968) a proposé quelques ajustements pour appliquer ce modèle (USLE) aux conditions africaines.

Une classification a été adoptée en 1978 :

Sols très résistants à l'érosion.	$K < 0,10$
Sols assez résistants à l'érosion.	$0,10 - 0,25$
Sols moyennement sensibles à l'érosion.	$0,25 - 0,35$
Sols assez sensibles à l'érosion.	$0,35 - 0,45$
Sols très sensibles à l'érosion.	$> 0,45$

La formule de la sensibilité des sols à l'érosion est la suivante :

$$100 K_{ang} = 2,2 (M^{1,14} \cdot 10^{-4})(12-a)+3,25(b-2)+2,5(c-3)$$

Où :

Kang : érodibilité des sols en multiplier par 1,292 pour passer de système anglo-saxon au système métrique.

M : la texture = (% de Φ 2 à 100 microns) [100% - (% de Φ 0 à 2 microns)]

a : % de matières organiques.

b : la structure des sols. Codé de 1 à 4 dans le tableau N°40

Tableau 40 : le facteur b de la structure.

Code	STRUCTURE
1	Granulométrie très fine
2	Granulométrie fine
3	Granulométrie moyenne ou grossière
4	Plaque ou roche massive polyédrique

C : la perméabilité est codée de 6 à 1; distinguée expérimentalement au laboratoire la conductivité hydraulique K (cm/h) et sur la base du tableau au dessous nous aurons la valeur de c :

Tableau 41 : le facteur C de la perméabilité.

Code	K	Perméabilité
6	0 - 0,125	Très faible
5	0,125 - 0,25	Faible
4	0,25 - 1,25	Faible à modérée
3	1,25 - 2,5	Modérée
2	2,5 - 12,5	Modérée à rapide
1	>12,5	Rapide

On peut calculer le K rapidement avec le normogramme de Wischmeier directement dans le système métrique (Fig N°35).

3) Le facteur topographique « SL » :

Plusieurs chercheurs ont trouvé que l'érosion se traduit par une relation exponentielle avec l'inclinaison et la longueur de la pente.

Enfin, Wischmeier intègre les deux facteurs dans le modèle de USLE sous la forme suivante :

$$SL = \frac{\sqrt{3,28 * L}}{100} * (0,076 * S^2 + 0,53 * S + 0,76)$$

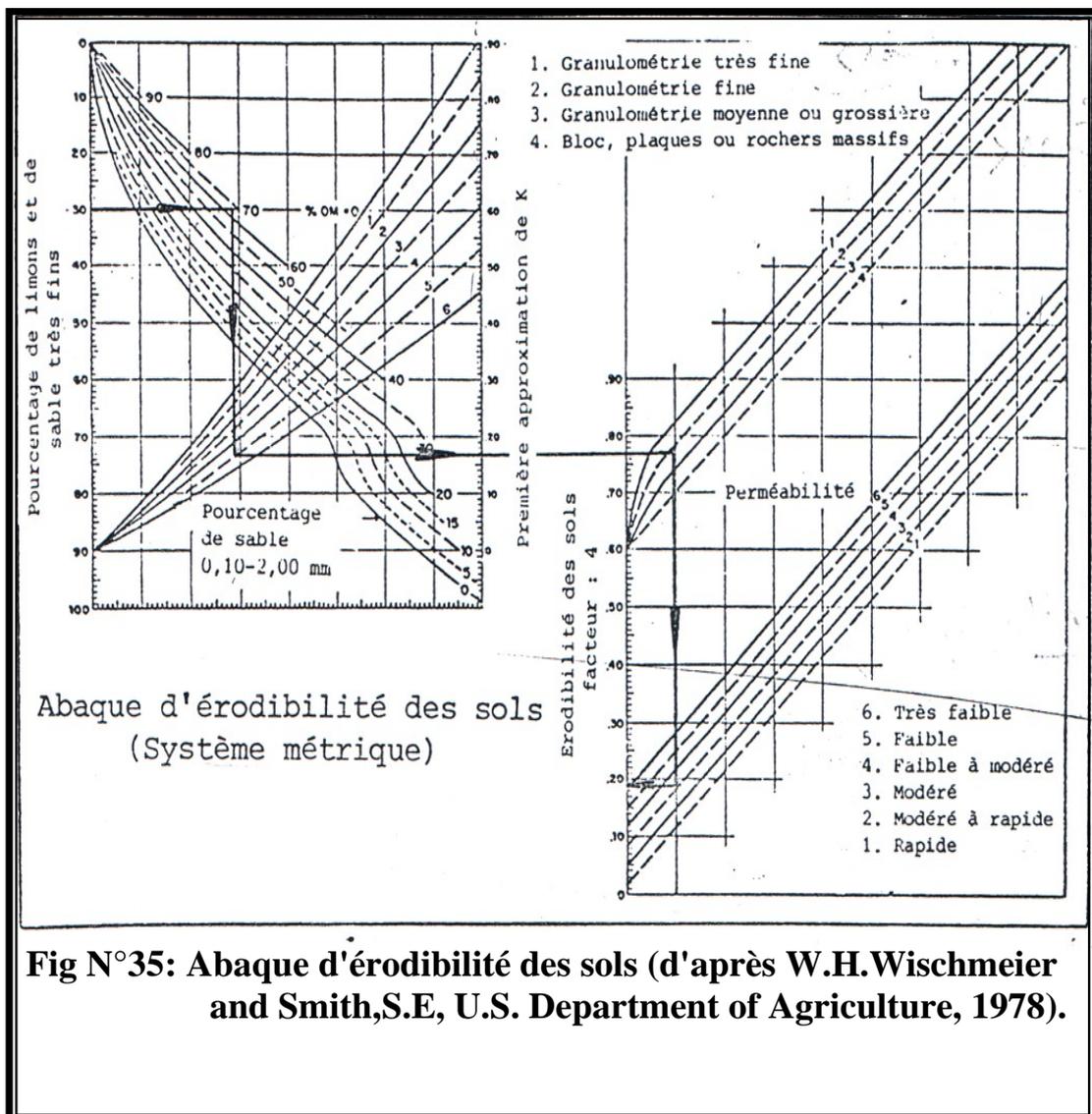
Où :

SL : facteur topographique sans dimension.

L : longueur de pente en mètre.

S : inclinaison de pente en %.

Mais la forme de la pente pose un problème par ce qu'elle est souvent négligeable et d'après Wischmeier (1974) « à pente moyenne égale, une pente concave diminue les transports solides, tandis qu'une pente convexe l'augmente en fonction de l'inclinaison du segment le plus pentu ».



4) L'indice cultural (C) :

L'influence de la couverture végétale et de pratiques culturales sur l'érosion dépend des facteurs multiples :

- la nature des cultures et l'évolution de système racinaire.

- Traitement du chaume ...etc.

La valeur de C entraîné de 1 dans les sols totalement nus et proche de 0 dans les sols à très bonne couverture.

5) Facteur de conservation des sols (P) :

C'est le rapport entre la perte de terre sur un champ travaillé dans le sens de la pente d'où P =1 dans les versant non traités et une valeur proche de 0 dans les versant traité.

Ici quelques valeurs de C, utilisé dans la carte de taux de couverture végétale du Bassin versant de O. El-Hai :

c = 0,09	Forêt
Parcours forestier	c = 0,20
c = 0,45	Parcours
c = 0,63	Céréales
c = 0,90	Arboriculture

On peut citer aussi quelques valeurs de P, selon la pente pour différentes techniques de protection contre l'érosion des terres agricoles.

Pente (%)	Culture selon la figure de plus grande pente	Culture en travers de la pente sous bandes	Culture suivant les courbes de niveau	Culture en travers de la pente avec bandes	Culture en bandes selon les courbes de niveau
2 - 7	1	0,75	0,50	0,37	0,25
7,1 - 12	1	0,80	0,60	0,45	0,30
12,1 - 18	1	0,90	0,80	0,60	0,40
18,1 - 24	1	0,95	0,90	0,67	0,45

Source : Soil Conservation Service (U.S.A).

1.2.3- APPLICATION :

A- Le calcul de R :

Vu l'absence d'un pluviogramme, nous avons calculé l'indice R pour les stations et celle avoisinantes du bassin versant de Oued El-Hai par la formule suivante :

$$\text{où : } K = 0,751, n = 0,8 \text{ semi-aride } R = K * C^n$$

Avec la méthode suivante :

L'absence des pluies journalières maximales nous appuie incite à utilise une des trois relations d'estimation des P_j , qui ont été déduites graphiquement à partir d'une régression faite avec les pluies annuelle cite par : BODY – K, 1981 :

$$\bar{P}_j = 0,0525 * P_{an} + 18,6 \quad (R = 0,976) \rightarrow (I)$$

$$\bar{P}_j = 0,088 * P_{an} + 9,2 \quad (R = 0,92) \rightarrow (II)$$

$$\bar{P}_j = 0,233 * P_{an} + 6,1 \quad (R = 0,86) \rightarrow (III)$$

Avec : P_{an} : pluie moyenne annuelle (mm).

D'après Sarvary, la relation (II) s'applique sur la partie Ouest de l'Algérie, la relation (III) dans la partie du Sahara centrale et le reste des bassins versants appartiennent à la relation (I) ; y- compris la zone d'étude.

Et pour déterminer les précipitations journalières maximales de fréquence voulue, on peut utiliser la relation :

$$P_{j\%} = \frac{\bar{P}_j}{\sqrt{CV^2 + 1}} e^{u \sqrt{\ln(CV^2 + 1)}} \rightarrow (1)$$

$P_{j\%}$: Pluie journalière maximale de fréquence voulue.

: La moyenne des pluies journalières maximales annuelles. \bar{P}_j

CV : Coefficient de variation $CV = \frac{ecart - type P_j}{\bar{P}_j}$

u : Variable réduite de GAUSS.(tableau de Gauss).

Pour les pluies de courte durée de fréquence

F = 0,5 => u = 0, Donc la relation (1) devient :

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

Alors, pour déterminer les précipitations de courtes durées tombées pendant les averses, on utilise la formule de MONTANARI suivante :

$$P_{T\%} = P_{j\%} \left(\frac{t}{24} \right)^b$$

Où :

$P_{t\%}$: hauteur de pluie de fréquence et de durée données

$P_{j\%}$: la moyenne des pluies journalières maximales annuelles, donnée par la relation(2).

t: le temps critique de pluie ou le temps de concentration en heurs

b: exposant climatique relatif à chaque station et se calculé par la relation:

$$b = 1 - ((\ln I_2 - \ln I_1) / (\ln T_2 - \ln T_1))$$

$$I_1 = 25 \text{ mm/h}, T_1 = 0,5 \text{ h}$$

$$I_2 = \bar{P}_j / 24, T_2 = 24 \text{ h}$$

Les résultats de R sont inscrits au le tableau N°42.

Tableau 42 : Indice d'agressivité climatique de WISCHMEIER (74/2004)

	Djamourah	Segana	Ain Touta	Tazoult	Chaabet.O.chlih
P_jmoy (mm)	27,01	28,24	32,37	35,33	40,32
Ecar type	2,7538	4,594	3,8720826	5,1422	6,14
CV	0,1020	0,163	0,1196	0,1455	0,152354
P_j%(mm)	26,87	27,88	32,17	34,97	39,864
b	0,20	0,21	0,25	0,27	0,30
h1(cm)	1,4275	1,428	1,4728	1,4899	1,5241
h24(cm)	2,6870	2,788	3,217	3,4966	3,9864
H(cm)	16,42	18,369	26,237	35,30	413,80
R(t.m/he.cm/h.10⁻²)	20,25	23,27	32,69	48,68	62,51

- **Autre Indices d'érosivité de climats :**

3) indices de Fournier :

$$C = p^2/Pan$$

P : pluie de mois le plus pluvieux en mm.

P : pluie moyenne annuelle en mm/an.

4) indice Fournier-Arnoldus :

$$IFA = \sum (p^2_s + p^2_o + p^2_N + \dots + p^2_A) / Pan$$

Les résultats de calcul pour les différentes stations sont consignés dans le tableau suivant :

Tableau 43 : Indices d'érosivité des stations d'observation

	Djamourah	Segana	Ain Touta	Tazoulte	Ouled Chelih
P (mm/an)	164,18	183,69	262,37	353,03	413,80
Altitude (m)	543	716	917	1180	1278
I F	2,69	3,32	4,41	3,98	5,85
IFA	16,34	17,49	24,99	32,08	39,35
R	20,25	23,27	32,69	48,68	62,51

Pour la répartition spatiale des indices, on recherche sur la relation la plus représentative entre : **R = f (Pan) et R = f (H)**

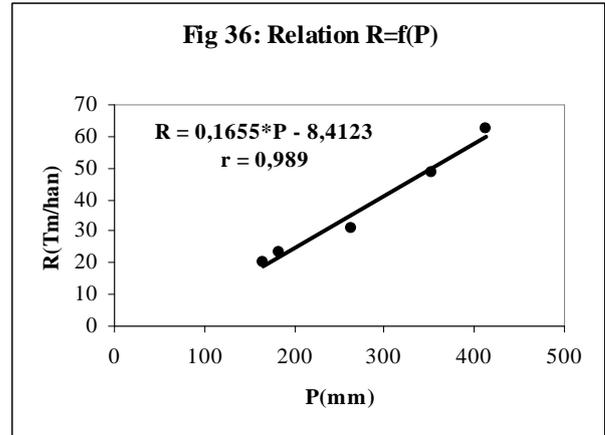
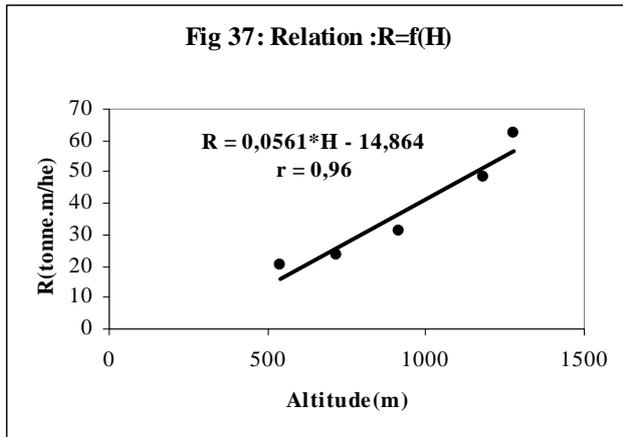
Les résultats des essais de corrélation sont portés au tableau suivant :

Tableau 44 : coefficient de corrélation entre les indices climatiques

les pluies et les altitudes

	IF	IFA	R
Pan (mm/an)	0,8867	0,998	0,989
Altitude (m)	0,87	0,97	0,96

Exemple de calcul pour l'indice de Wischmeier dans les Figures N°36; 37.



La régression $R, IF, IFA = f(\text{pan})$ et $R, IF, IFA = f(H)$ présentent un coefficient de corrélation acceptable (0,989 et 0,88) et (0,96 et 0,87), là on peut utiliser une des deux équations, mais d'après le coefficient de corrélation la relation $R, IF, IFA = f(Pan)$ est la plus convenable, par contre la plus facile à utiliser; c'est la relation qui lié les indices en fonction des altitudes.

La répartition des indices d'érosivité de Wischmeier, Fournier et de Fournier-Arnoldus suit en général la répartition des pluies.

Les valeurs d'érosivité les plus élevés coïncident avec les pluies les plus fortes.

Comme pour les pluies, la répartition des indices d'érosivité est subdivisée en 4 Groupes situés dans les mêmes zones, par apport aux altitudes enregistrer dans le tableau suivant :

Classes d'Altitudes	IF	IFA	R
350 - 600	2,09 - 2,9407	8,21 - 15,963	4,77 - 18,796
600 - 1100	2,9407 - 4,6407	15,963 - 31,463	18,796 - 46,846
1100 - 1500	4,6407 - 6,0007	31,463 - 43,863	46,846 - 69,286
1500 - 2091	6,0007 - 8,01	43,863 - 62,18	69,286 - 102,44

Le zonage des classes d'érosivité en fonction des altitudes :

- la zone de 350 à 600 m : la plaine entre El-kantara jusque au Barrage (risque d'érosion pluviale faible)
- la zone de 600 à 1100 m : la plaine de Ain Touta et la zone de transition entre elle et celle d'El-kantara (risque d'érosion pluviale moyen)

- la zone de 1100 à 1500 m : les basses versants et les piedmonts (risque d'érosion pluviale forte)
- la zone de 1500 à 2091 m : les hautes versants (risque d'érosion pluviale très forte)

L'interpolation des indices d'érosivité été faite à l'aide du logiciel SURFER sur un support topographique, après la digitalisation de la carte des altitudes ; nous avons utilisé les équations de régression pour estimer la valeur de chaque variable de n'importe quelle point sur la zone d'étude par les équation de régression suivantes :

$$R = 0,05611 * H - 14,864 \quad (r = 0,96)$$

$$IF = 0,0034 * H - 0,9007 \quad (r = 0,87)$$

$$IFA = 0,031 * H - 2,6375 \quad (r = 0,97)$$

Les cartes des isoérosivités sont illustrées dans les Figures N°38, 39 et 40 .

B- le calcul de K :

Les échantillons des sols que nous avons adopté dans ce travail se trouvent au niveau de département de l'agronomie (mémoire de fin d'étude option : pédologie). Elles ne couvrent pas toute la zone d'étude car les agronomes s'intéressent des terres agricoles de pente inférieure à 7%. Sur 22 échantillons de l'horizon superficiel dans la zone d'étude de profondeur varie de (0 à 140 cm) 14 échantillons entre Batna et Ain Touta, 08 échantillons des environs d'El-Kantara (voir annexe).

Le principe d'extrapolation utilisé ; si un ou plusieurs échantillons tombe dans un type de sol déterminé dans le premier chapitre on prend la moyenne pour toute la surface couverte par ce type de sol ; sans prendre en considération l'effet du couvert végétal sur le développement des sols.

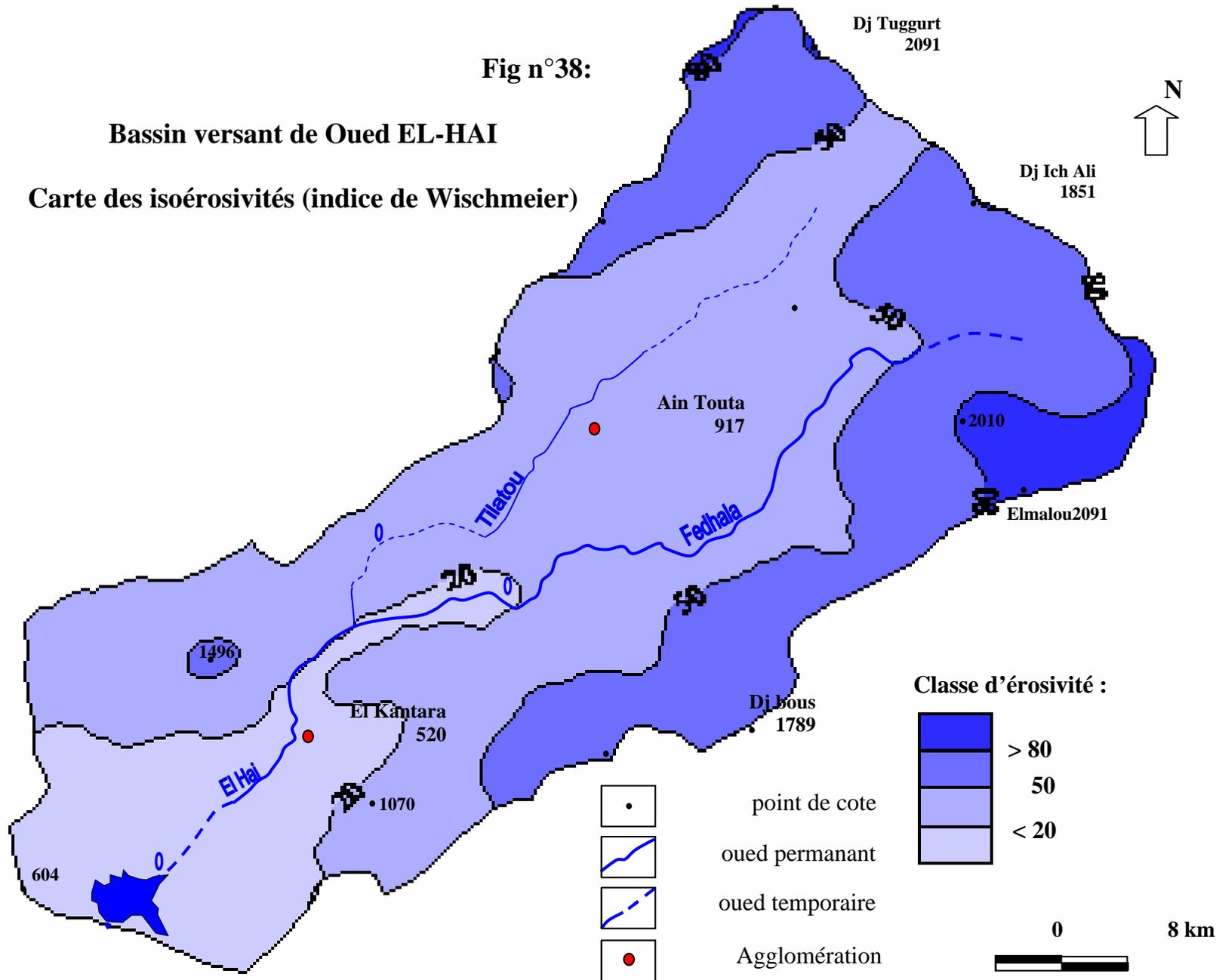
La stabilité texturale des sols est définie par la composition granulométrique et la répartition des classes de tailles dans le triangle texturale (Fig N°38).

La première remarque : 18/22 échantillons de sols sont stables à moyen (a_6 , a_2 et a_5) et 4/22 varie entre instable à très instable. (a_1 et a_4) ; après on calcule l'indice d'érodibilité (tableau N°45); par deux méthodes pour la comparaison entre la méthode de Wischmeier et celle proposée par Guettouch.M.S et Guendouz.M (2003) pour les sols en climat semi-aride à aride où :

$$K = 0,0046.G^{1,082}$$

K : pourcentage de la fraction limoneuse et sable fin (0,2 – 0,005mm).

Fig n°38:
Bassin versant de Oued EL-HAI
Carte des isoérosivités (indice de Wischmeier)



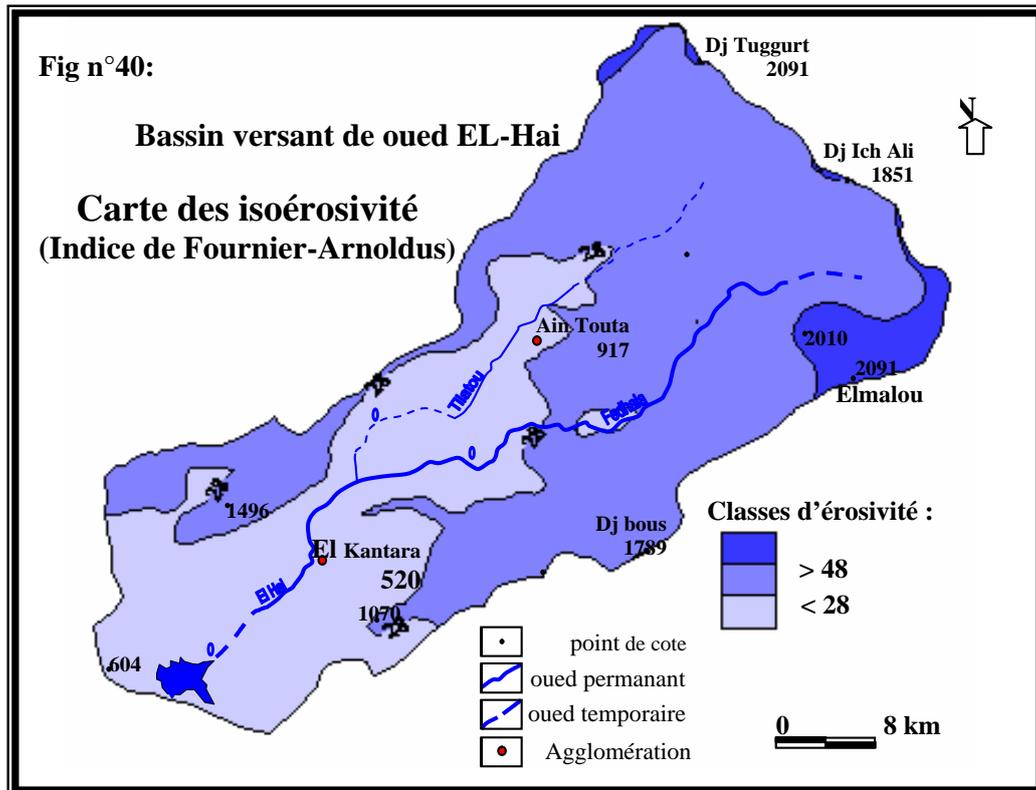
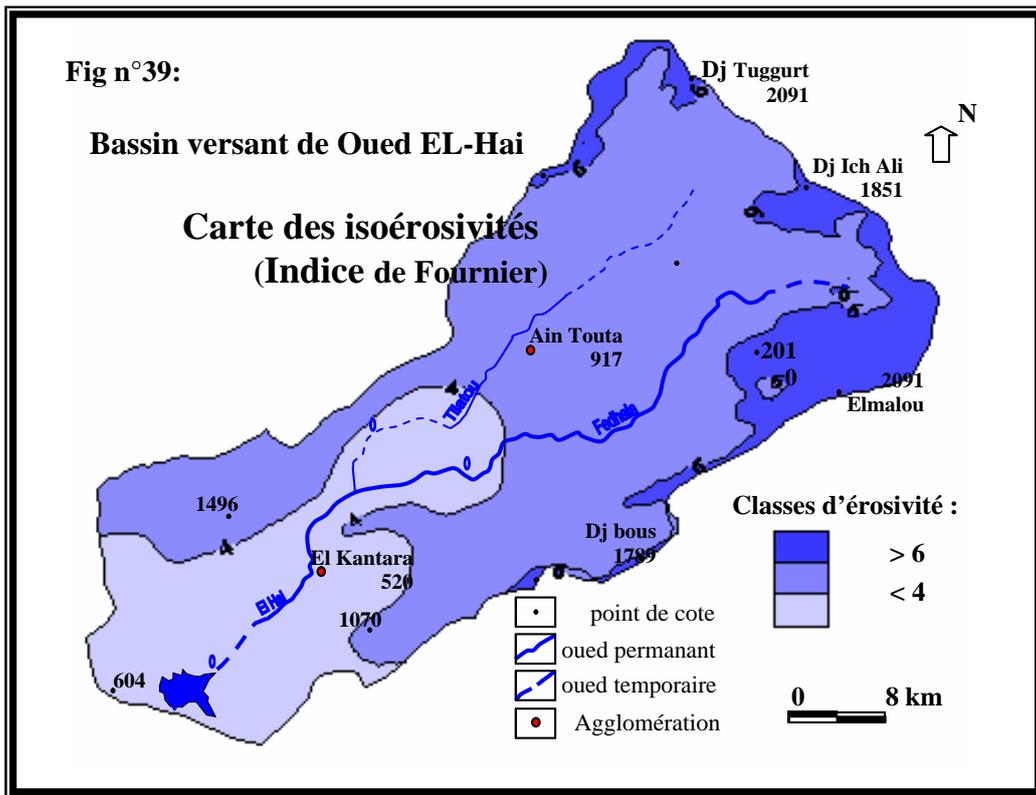
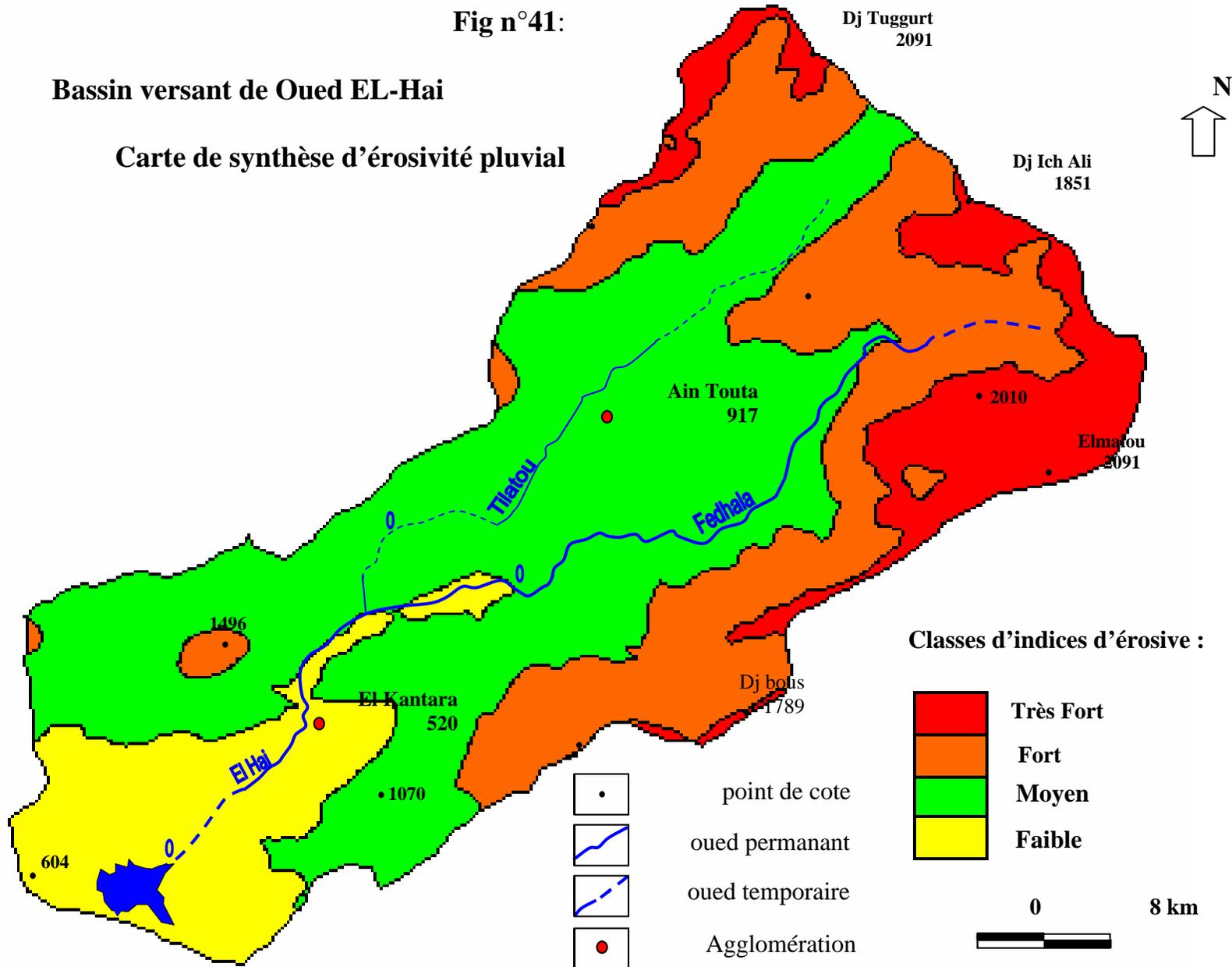


Fig n°41:

Bassin versant de Oued EL-Hai

Carte de synthèse d'érosivité pluvial



La comparaison entre les deux méthodes basées sur l'intervalle de K des sols tempérés entre (0,03 à 0,70).

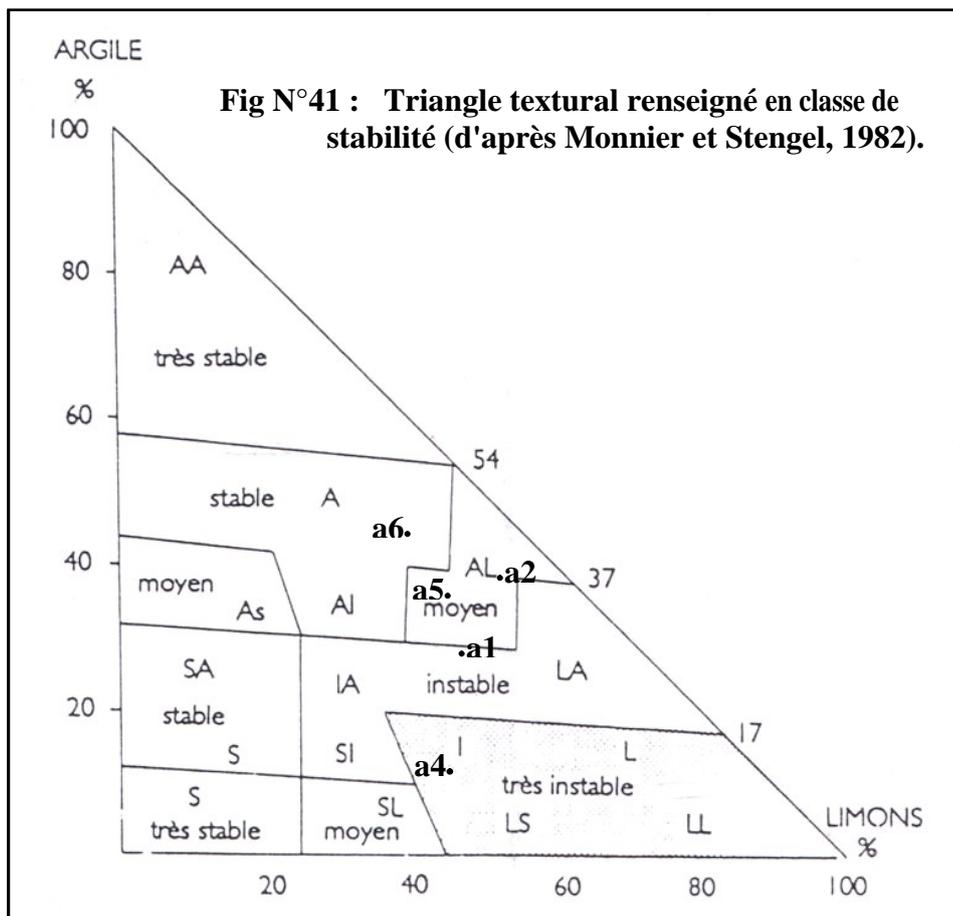


Tableau 45 : Indice d'érodibilité de Wischmeier pour les sols du B.V

sol	arg	L.F	L.G	S.F	S.G	MO	b	c	100Kang	Km	K(Guett)	ecar
a1	29,5	25,0	23,5	12,6	9,4	0,8	2	3	34,49	0,45	0,51	0,87
a2	38,6	28,3	21,3	2,1	9,7	1,9	2	4	24,35	0,31	0,43	0,73
a4	11,6	27,2	19,5	20,2	21,4	1,9	3	2	43,6	0,56	0,57	0,99
a5	37,3	32,8	12,6	9,3	8,1	1,4	2	3	26,31	0,34	0,46	0,74
a6	46,3	30,0	12,0	9,1	2,6	2,3	2	3	18,58	0,24	0,42	0,57

Après les calculs pour chaque échantillon nous avons trouvé que la méthode de Wischmeier a donné des résultats inférieurs à celle de deux chercheurs Algériens ; qui a donné des valeurs très proches l'un de l'autre qui reflète l'aspect général des sols peu évolués et pauvres de climat semi-aride à aride.

L'avantage de cette méthode ; facilite le calcul de K en cas d'absence d'autre caractéristique des sols (M.O, Perméabilité et structure).

L'indice d'érodibilité des sols de Oued El-Hai varie de 0,56 dans les sols à apports éolien et 0,24 dans les sols d'apport alluvial.

Nous avons utilisé les valeurs obtenues par la formule de Wischmeier inscrit dans le tableau au-dessus pour chaque zone.

C. Le facteur topographique :

Dans ce paramètre, il n'est pas facile de prendre une valeur optimale pour la pente et l'inclinaison, c'était le choix d'une pente moyenne et une longueur de pente moyenne de chaque zone déterminée pour chaque versant sur la carte 1/200 000^{émé} avec un ravin comme un niveau référentiel, les valeurs sont enregistrées dans le tableau suivant :

	I	II	III	IV	MOY
L(m)	1287	767	641	451	786,5
S (%)	2,21	7,50	10,43	14,80	8,74
SL	1,50	4,52	6,67	10,73	5,68

D. L'indice cultural et couverture végétale (c) et pratique anti-érosive (P).

Pour C: dans cet indice nous avons utilisé les valeurs moyennes par apport à la surface couverte par un Taux de couverture exemple :

Taux de couverture forte	c= 0,09 (forêt).
Taux de couverture moyenne	c= 0,45 (maquis).
Taux de couverture faible	c= 0,63 (céréale culture)
Taux de couverture très faible	c= 1 (sols nu).

Par contre l'indice P a été considéré égal à 1 du fait que les travaux récents sont très faibles et l'absence de maintenance des anciens travaux (ouvrages de conservation des sols).

1-2-4 Evaluation de risque d'érosion :

A partir de la superposition des cartes d'érosion potentielle et de risque d'érosion pluviale, on obtient la carte de dégradation, avec la méthode suivante :

A)- Zonage de risque d'érosion :

Risque	pluvial				
Potentielle	Erosion	Faible(+2)	Moyenne(+,-)	Forte(-2)	Très Forte(-3)
	Faible (+2)	+4	+2	0	-1
	Moyenne(+,-)	+2	0	-2	-3
	Forte (-2)	0	-2	-4	-5
	Très Forte(-3)	-1	-3	-5	-6

On obtient les classes de risque d'érosion suivantes :

- risque Faible à très faible (+2 à +4)
- risque moyenne (0)
- risque fort (- 1 à - 2)
- risque très fort (-3,-4,-5 et -6)

B)- nous avons calcule la perte en terre a l'aide de USLE dans chaque zones avec l'indice d'agressivité max, min et moyen, les résultats sont regroupée dans le tableau suivant:

Tableau N°46 : La perte de sol par zones du bassin versant de O. El-Hai

zones		R	K	LS	C	P	A(T/ha)
I	Min	4,77	0,32	1,5	0,60	1	1,40
	Max	18,796	"	"	"	"	5,53
	moyen	11,783	"	"	"	"	3,46
II	Min	18,796	0,42	4,52	0,50	1	17,87
	Max	46,846	"	"	"	"	44,53
	moyen	32,821	"	"	"	"	31,20
III	Min	46,846	0,39	6,67	0,55	1	68,09
	Max	69,286	"	"	"	"	100,70
	moyen	58,066	"	"	"	"	84,40
IV	Min	69,286	0,39	9,71	0,47	1	137,95
	Max	102,44	"	"	"	"	203,96
	moyen	85,86	"	"	"	"	170,95
Bassin Versant	Min	34,9277	0,38	5,68	0,53	1	34,928
	Max	59,344	"	"	"	"	59,344
	moyen	47,136	"	"	"	"	47,136

La carte d'érosion figure 42, montre la perte annuelle en terre dans le Bassin versant de Oued El-Hai.

Pour arriver à une bonne interprétation des résultats ; on peut utilise la classification suivante :

$A \leq 5$: érosion négligeable.

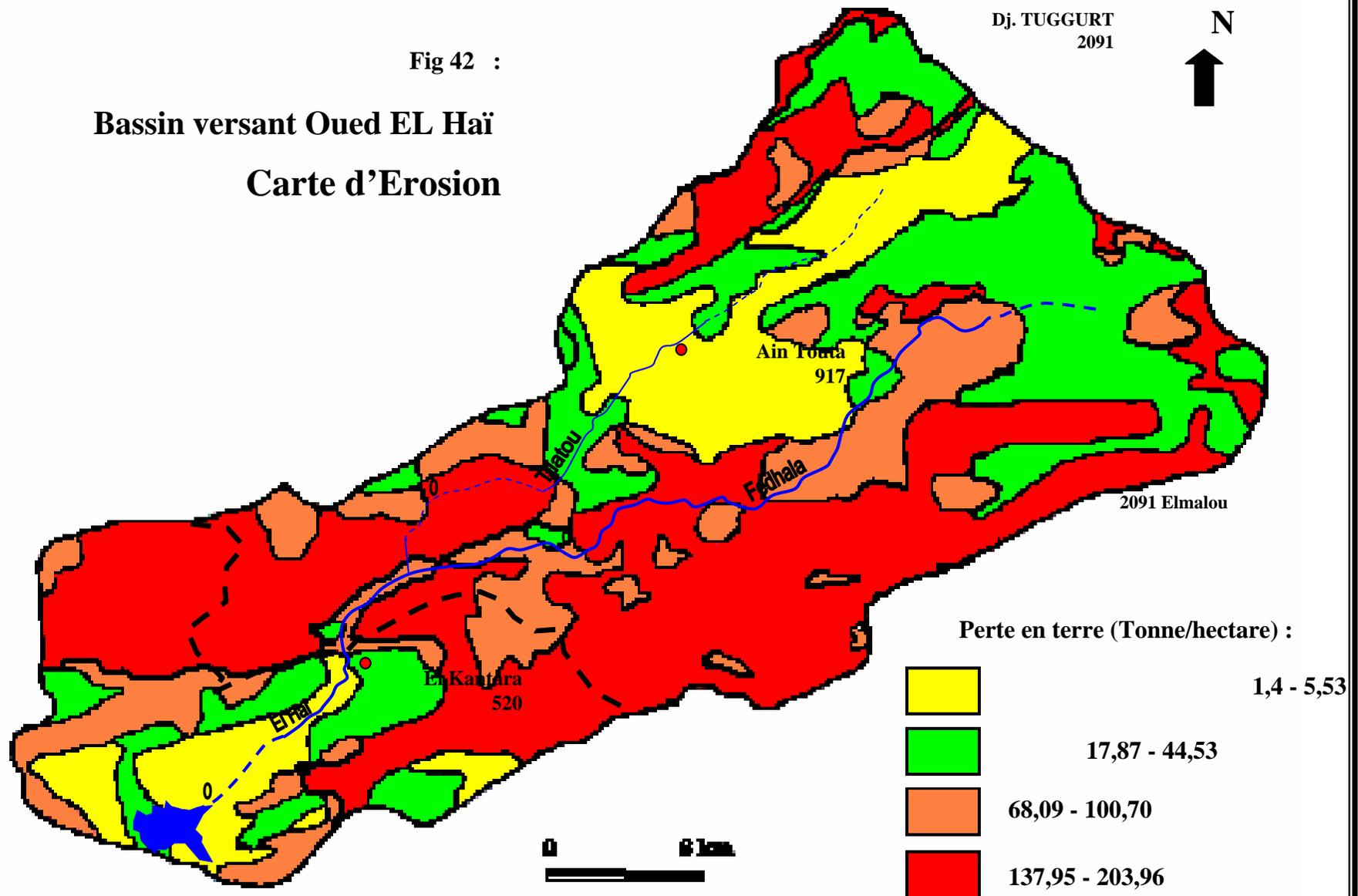
5 -15 : érosion faible.

15 - 30 : érosion modérée.

30 -60 : érosion sévère.

$A > 60$: érosion très sévère.

Fig 42 :
 Bassin versant Oued EL Hai
 Carte d'Erosion



102

La perte de sol dans le bassin versant de Oued EL HAI varié selon le zonage de risque d'érosion suivant :

La zone (I) à érosion faible (1,40-5,53t/ha), la zone (II) érosion modéré à sévère (17,87-44,53t/ha) et l'érosion des zones (III) et (IV) sont très sévère (68,09-100,70 et 137,95-203,96 t/ha), et donc la dégradation moyenne des sols est estimée à 47 T/ha/an.

* le calcul de la sédimentation produite dans la retenue pendant la durée de vie du barrage ($T_n = 50$ ans).

La formule la plus utilisée est celle de WOOD BURN (II):

$$SP = 2,492 \cdot A^{0,9151} \cdot St^{0,8308} \cdot T_n^{0,7329} = 64,242\ 578 \text{ m tonne.}$$

SP : sédimentation produite en tonne.

A : surface du bassin versant en hectares.

St : dégradation spécifique en t/ha/an.

T_n : durée de vie de la retenue en ans.

Si on admet que la densité moyenne des sédiments égal à $1,6 \text{ t/m}^3$ et la capacité total du barrage est de $57,5 \cdot 10^6 \text{ m}^3$, le degré d'envasement pendant la durée de vie peut arrive à 69,81%. donc on constate que l'âge cet ouvrage ne peut pas dépasser 25ans.

La dégradation spécifique pour cette période est de $D_s = 774 \text{ tonne/Km}^2/\text{an}$, ce qui fait plus de trois fois de la valeur trouvée par ANRH ($200 \text{ T/Km}^2/\text{an}$)

III - L'estimation de l'érosion par les formules empiriques :

1) Formule de Tixeront 1960 :

Basée sur les données recueillies dans 32 bassins d'Algérie et 09 bassins de TUNISIE (dont 04 Alimentant des barrages réservoirs), où les superficies varie de 90 à 22 300 Km^2 et la durée d'observation a été proposée par Tixeront après avoir regrouper les bassins en trois zones d'érosion selon la répartition de la pluviométrie annuelle comme suivant :

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

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

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

$$A = 92 \cdot R^{0,21} \quad (\text{région de l'Est Algérien})$$

$$A = 2000 \cdot R^{0,21} \quad (\text{région centre Algérie})$$

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

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

3) Formule de Sogréah ; 1969 :

La relation Sogréah inspirée de la formule Tixeront, donne les apports solides spécifiques A (T/Km²/an) en fonction du ruissellement annuel de crue (mm/an) et de la perméabilité des bassin :

Perméabilité	A(T/Km ² /an)
Elevée	8,5 R ^{0,15}
Moyenne à élevée	75 . R ^{0,15}
Faible à moyenne	350 . R ^{0,15}
Faible	1400 . R ^{0,15}
Imperméable	3200 . R ^{0,15}

4) Formule de Fournier :

Basée sur les données recueillies dans 104 bassins fluviaux à travers le monde de superficie à 2000 Km², cette formule fait intervenir l'indice d'abondance pluviométrique aussi que l'orographie des bassins.

Elle est de forme suivant :

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

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

P^2 : précipitation du mois le plus humide (mm²)

\bar{P} : précipitation moyenne annuelle (mm/an)

Après, il à retiré (04) autres formules conditionnées, parce que il à trouvé que les nuages de poins sont regroupées en quatre orientation linéaire sont :

$$D_s = 6,14 C - 49,79 \quad \text{si : } C_0 < 6, 20 < C < 8,5$$

$$D_s = 27,12C - 475,4 \quad \text{si : } C_0 < 6, C > 17,5$$

$$D_s = 52,49 C - 737,62 \quad \text{si : } C_0 > 6, C > 9,7$$

$$D_s = 91,78 C - 737,62 \quad \text{si : } C_0 > 6, C > 8$$

et

$$C = \frac{P^2}{\bar{P}}$$

5- Formule de Gavrilovic :

Mise au point en Yougoslavie et utilisée en Algérie dans le cadre d'un projet régional

La formule est basée sur deux fonctions :

A) une fonction donnant la production annuelle de sédiment :

$$Pe = T.H_m.p.(Z^3)^{0,5}$$

Pe : produit de sédimentation en suspension et charriage en $m^3 / Km^2 / an$.

Hm : pluie moyenne annuelle (mm)

$$T : \text{coefficient de température} = \sqrt{\frac{t}{10}} + 0.1$$

t : température moyenne annuelle (c°)

Z : coefficient empirique lie à l'érosion du bassin conjugué dans le tableau :

Erosion	Z
Excessive	1 - 1,5
Intense	0,7 - 1
Moyenne	0,4 - 0,7
Faible	0,2 - 0,4
Très faible	0,1 - 0,2

On prend la moyenne de la classe

b- Une fonction déterminant le taux de rétention (Rm) des sédiments produits par le bassin en tenant compte des discontinuités spatio – temporelles dans le flux des matériaux arrachés

$$Rm = \frac{\sqrt{Pe * H}}{0,2(L+10)}$$

Alors que : $Ds = Pe * Rm$ ($m^3 / km^2 / an$)

L'intérêt de cette méthode est d'introduire la notion de transfert qui complète la notion de production prenant en charge, et aussi le phénomène de discontinuité. Le point faible de cette formule est pendant la comparaison avec les résultats des autres formules est difficile car la dégradation spécifique fournissent en générale en $T/Km^2/An$, par contre cette formule en $m^3/km^2/an$ et pour la transformation de ces valeurs en $T/Km^2/an$ on les multiplier par la densité moyenne des sédiments $1,6Tonne/m^3$.

6. Formule de ANRH :

$$Ds = 4,49 * Ct + 7,32 * \frac{p^2}{P} - 144,28$$

Ct : coefficient de torrentialité

$\frac{P^2}{P}$: indice d'abondance pluviale de Fournier

Les résultats obtenus des 05 formules sont reportés dans le tableau récapitulatif N°47; de la dégradation spécifique du bassin versant de O. El-Hai.

Tableaux 47: Récapitulation de la dégradation dans le B.V de O. El-Hai(74-2004)

Formule	S.B amont	S.B aval	B.V
Tixéront	168 ,91	111,52	157,66
Sogréah	54,18	86	514,23
Fournier	31 ,99	9,61	23,03
Gavrilovic Erosion moyenne	713,63	464,35	496,22
ANRH	97,11	176,45	117,63
USLE	/	/	774

* Les valeurs de Ds en t/km²/ans

Résultats et discussion :

La comparaison entre ces formules est difficile du point de vue de leurs conditions d'application :

- La relation de Fournier est sous-estimée ; ce qu'a montré DEMMAK, p169«les 5 bassins susceptible d'être classés comme appartenant à la zone semi-aride (régions Hodna, Aurès et Chélif Occidental) sortent pratiquement des limite de validité des relations de Fournier (Co<8)».

- A partir de la classification de TIXERONT (1960) des zones de l'érosion qui se basant sur la répartition pluviométrique annuelle, le bassin d'étude appartient à la zone d'érosion très active(300 <Pan=304mm<700) et donc la valeur trouvée par cette formule est sous-estimée.

- L'ANRH s'applique dans le Nord de l'Algérie; c'est pour ça la valeur de la dégradation est faible.

- Les relations de Sogréah et Gavrilovic sont très proche environ de 500 t/km²/an, si on fait une comparaison avec les valeurs de la dégradation spécifique des bassins versants voisinant (El Abiod Tss = 401,2, El Arab Tss = 539,1t/km²/an ; avec Pan = 298,8 et 340,2mm/an ; pour la période (1972-1978),

cité par : Demmak, 1982 et Bourouba, 1995, on peut dire que l'érosion du bassin versant de O.El-Hai entre de 400 à 500t/km²/an.

- l'équation de Wischmeier évalue l'érosion en nappe et prend en considération cinq variables explicatifs ; mais dans l'absence d'une expérimentation on peut pas accepte la valeur trouvée par USLE de 774T/km²/an comme une seuil maximal de l'érosion.

Donc on peut estimé l'érosion du Bassin versant de Oued El-Hai entre 400 et 500 T/km²/an, mais les mesures in cite reste les plus fiables dans le domaine de l'érosion.

Conclusion :

En général, le bassin versant de O. El-Hai comprend quatre zones homogènes caractérisées par une dégradation annuelle qui varie de 1,40 à 203,96t /ha/an, où une zone à risque d'érosion faible. Contrairement trois autres à risque excessive, et la perte moyenne annuelle du bassin versant estime à 47,13 T/ha/an.

L'application d'autres modèles a montré que la formule de la Sogréah et Gavrilovic est les plus adéquate aux conditions de la zone d'étude, avec un taux de 500 T/Km²/an. Ce qui laisse le barrage de fontaine des gazelles en exposition au risque d'envasement rapide. Elle demande une intervention en urgence et efficace pour assurer une durée de vie optimale de cet ouvrage vital.

Chapitre VI
Plan de protection du Barrage
de Fontaine des gazelles contre
l'envasement

Introduction :

Dans ce chapitre la mise en place d'un plan de protection du barrage devient une nécessité qui exige des techniques de restauration des sols, on prend en considération le coût, l'efficacité des ouvrages et le développement de la région. Les propositions sont fonction de l'intensité de l'érosion dans chaque zone selon l'échelle des priorités à l'intervention.

La surface du bassin versant est très vaste à ce moment là, nous avons partagé le mode d'intervention en deux types :

I- INTERVENTION RAPIDE :

Ce type d'intervention concerne le sous bassin aval étant le plus proche du barrage comme suit :

1) Fossé de sédimentation :

Le gorge d'El-Kantara constituent un très bon site pour réaliser un fossé de sédimentation, où la largeur de Oued EL HAI est environ de 10 mètre, cet ouvrage peut garder la plus grande quantité des sédiments qui vient de la partie amont, surtout les éléments transporté par charriage et les sables grossiers ; par ce que en Algérie le débit charrié dans les retenues estimé entre 10 à 15% du débit en suspension⁽¹⁾,cet ouvrage peut régularisé la vitesse d'écoulement qui va devenir faible dans un cour d'eau de pente de 0,83% dans cette partie .

Le fossé doit être contrôlé et entretenue chaque année. La hauteur de la digue 3 mètre ; de type homogène en béton armé, la pente de devant 40% et en arrière 50% pour assurer une bonne stabilité de la digue ;cette dernier doit être basée sur une étude bien précisé.

2) L'aménagement de la partie AVAL :

Le sous bassin aval contient 3 classes d'érosion : moyenne, forte et très forte de superficie de 490 Km².

L'aridité de la partie aval et la présence des matériaux pierreux sont un avantage qui peut assuré la fourniture en matériaux de construction des ouvrages anti-érosifs.

⁽¹⁾ Envasement des barrages, P : 20.

2.1. Les murettes : C'est une technique adoptée aux fortes pentes (12,5 – 25%) en pierre sèche sous forme linéaire ; selon les courbes de niveau ; la hauteur 50 cm et la largeur 60cm.

Cette méthode est proposée pour les zones à érosion forte où les sols sont squelettiques et pauvres.

La relation de construction des murettes basée sur la formule de Saccardy, comme suit :

La densité des murettes :

$$N = L \frac{(P - I)}{H}$$

N : nombre des murettes.

L : largeur de versant (m)

P : pente (%).

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

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

L'espace entre les murettes dépend de la pente; mais on peut calculer

$$E = \frac{L}{N} \text{ l'espace moyen.}$$

: longueur de versant en mètre L

: nombre des seuils N

Exemple :

- les zones à risque d'érosion forte à très forte.

Tableau 48 : Caractéristiques des murettes des zones III et IV

Zone	Pente (%)	Longueur (m)	I (%)	H (m)	Nombre	Espacement (m)
III	10	641	2	0,5	102	6,28
IV	14	451	2	0,5	108	4,18

Ces valeurs sont calculées pour la pente et l'inclinaison moyenne des versants.

2.2. Les banquettes :

Le caractère des pentes fortes et l'effet destructif des écoulements de surface nous obligent à établir un réseau de banquettes sur la zone II même en piedmonts où la dominance des formations meubles.

La méthode de Saccardy :

Saccardy a proposé deux formules pour le dénivelé des banquettes ; après une étude de relation entre la pente et la nature des formations.

A. Dénivelé entre les banquettes :

La première relation est établie pour les pentes inférieures à 25%

$$(1) \quad 10 \pm H^3/P = 260$$

Et la deuxième pour les pentes supérieures à 25%.

$$H^3/P = 64 \quad \text{---} (2)$$

H : dénivelé en mètre.

P : pente en (%).

Dans notre cas les pentes du bassin versant sont inférieure à 25%; alors qu'on utilisant la relation (1) et le tableau N°49 exprime bien les caractéristiques du réseau de banquette selon Saccardy :

Tableau 49 : les caractéristiques de réseau des banquettes selon Saccardy

Pente du terrain (%)	Différence niveau entre deux banquettes	Distance horizontale entre deux banquettes (mètre)	Densité du réseau à l'hectare (mètre)	Surface traite pour 1000 mètre de banquette (hectare)
3	2,00	67	140	6,70
5	2,35	47	212	4,70
10	3,00	30	313	3,60
12	3,15	26	384	2,6
15	3,40	23	434	2,3
20	3,70	19	526	1,90
25	4,00	16	625	1,6

B. Longueur de banquette :

Il faut prendre en considération la nature de sol pour évaluer la longueur optimale de la banquette, dans notre cas elle ne dépasse pas les 400 mètres pour les sols argileux et 250 mètres pour les sols sableux limoneux, cette dernière est la plus dominante.

C. La pente longitudinale:

Cette pente évacue les eaux en cas d'excès sans érosion et la pente moyenne est environ 1/250m.

D. La section transversale de banquette :

La banquette devrait évacuer toutes les eaux vers l'exutoire sans provoquer l'érosion et sans risque de débordement.

La section dépend du débit drainant et de la vitesse d'écoulement.

$$S = \frac{Q}{V} \quad \rightarrow (1)$$

La vitesse d'écoulement se calcule par la formule de BAZIN :

$$V = \frac{87R\sqrt{P}}{\sqrt{R + G}}$$

P : pente de la banquette (P= 0,005)

$$R = \frac{\text{La section mouillée (m}^2\text{)}}{\text{le perimètre (m)}}$$

G : coefficient de rugosité voisine de 1,5.

Le débit (Q) est en relation avec la surface de l'impluvium (S) en m², l'intensité de pluie (I) mm/s et le coefficient d'infiltration K selon la formule:

$$Q = \frac{S}{6}(I - K)$$

Dans les conditions maximales des écoulements (K = 0) le débit alors devient :

$$Q = \frac{SI}{6}$$

Et dans le cas particulier l'intensité de la pluie I = 3 mm/s

$$Q \text{ m}^3/\text{s} = S \cdot 0,5$$

On remplaçant dans la formule (1) et donc la section S égale à:

$$S \text{ m}^2 = \frac{S(\text{hect}) * 0.5}{V \text{ m}^2 / \text{s}}$$

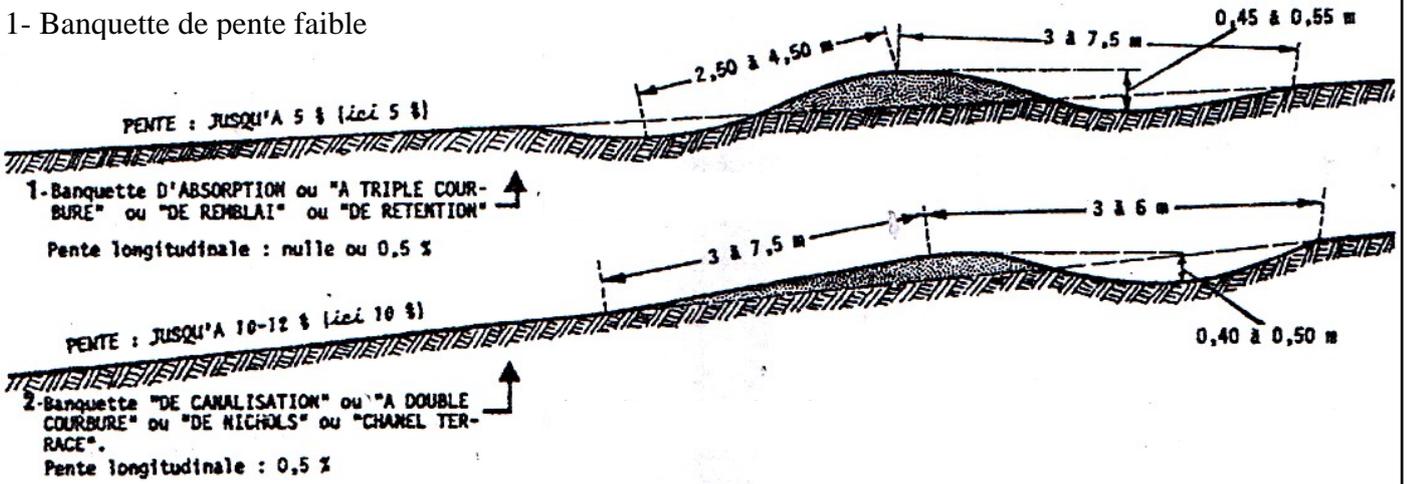
Les caractéristiques des banquettes sont portées dans le tableau suivant :

Tableau 50 : Les caractéristiques des banquettes proposées au B.V de O. El-Hai

Pente	H (mètre)	Largeur des champs (m)	Longueur maximale de banquette (m)	Superficie moyenne de champ S (hectare)	Type de profile de banquette	Débit max S/2 (m ³ /s)	Pente longitudinale (%)
3	2	67	400 à 250	2,69	à triple courbure	1,34	0,005
6	2,5	42	400 à 250	1,68	à double courbure	0,84	0,005
10	3	30	400 à 250	1,2	à double courbure	0,60	0,005
15	3,5	23	400 à 250	0,92	à faible courbure	0,46	0,005

Les types de banquette sont illustrés dans les fig N°43 et 44.

1- Banquette de pente faible



2- Banquettes de pente forte)

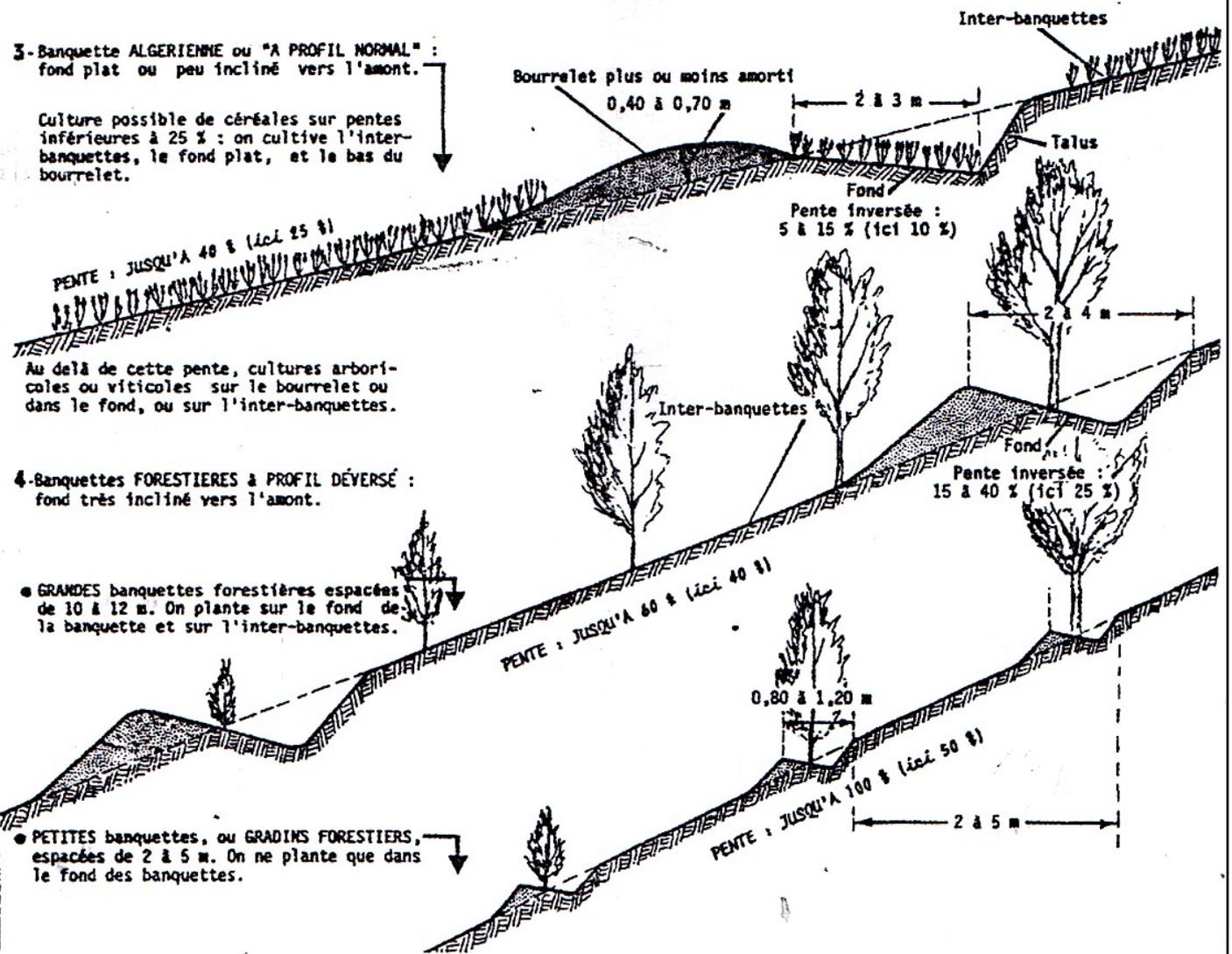
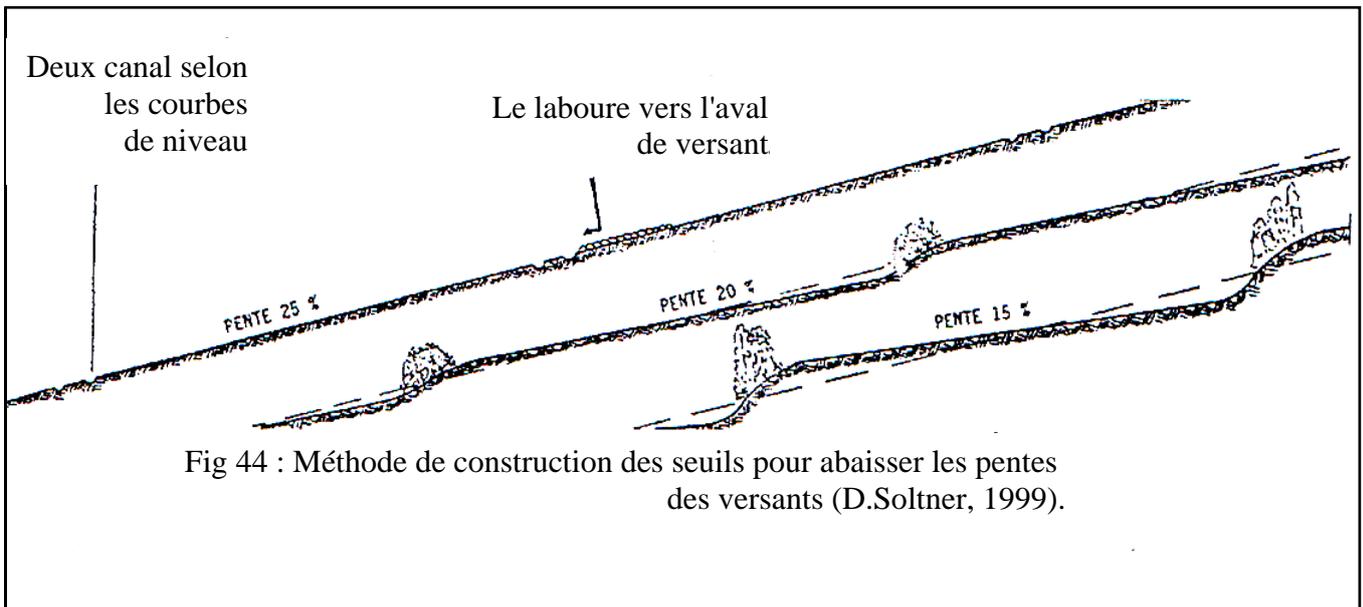


Fig 43 : Types de banquettes (d'après D.Soltner, 1999).



2.3. La correction torrentielle :

Un torrent est corrigé par la construction d'un nombre de seuils transversaux de l'aval à l'amont, comme ci-dessous :

A. Le nombre des barrages :

$$N = \frac{(P - I)}{H}$$

P : pente moyenne du ravin en %.

I : pente de compensation (1 à 2%)

H : hauteur de seuil varie de 1 à 4 mètres

B. l'espacement entre chaque deux barrage :

$$E = \frac{L}{N}$$

: longueur de torrent en mètre L

: nombre des seuils N

C. Les caractéristiques des barrages :

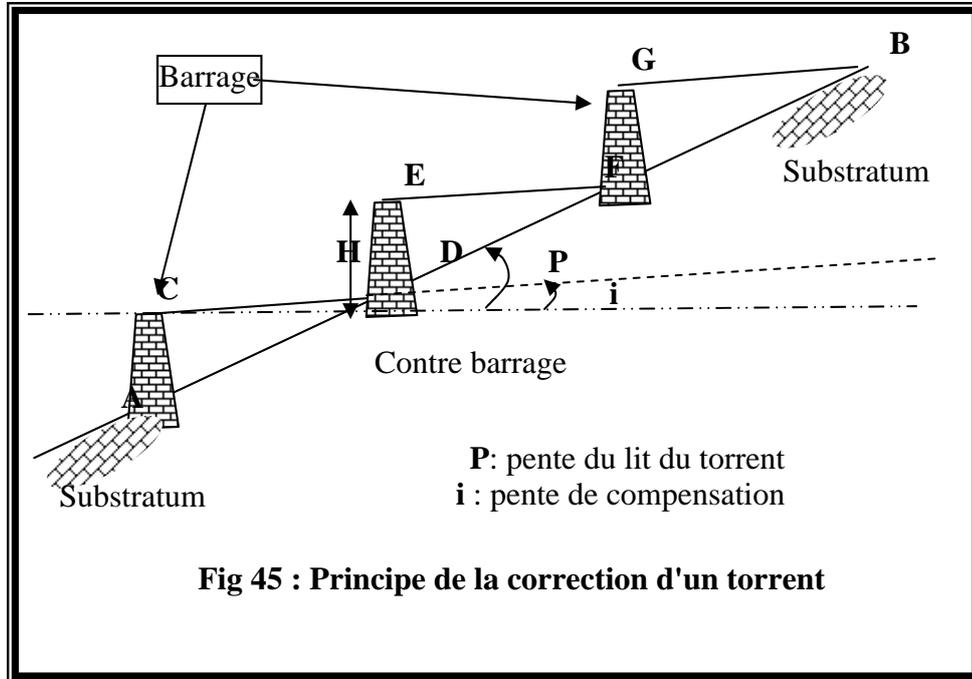
* Les fondations :

Les seuils doivent être solides et encastrés profondément dans les berges.

où leurs largeurs doivent forcément être supérieur à la base (0,20 à 0,30 mètre en largeur environ)

Au pied du barrage et par la chute de l'eau ; l'ouvrage peut être déchaussé ; là ils existent deux solutions soit l'augmentation des fondations vers 1 mètre ou bien construire un contre barrage voir (Fig N°45).

Sur les ailes le barrage peut être tourné dans ce cas on encastrera les ailes profondément dans les berges par des fondations en escalier, ou par surélévation des ailes en s'approchant des berges.



Ils existent deux types de barrage à construire :

- barrage rectiligne quant les berges sont peu consolidée.
- Barrage curviligne quant les berges sont consolidée.

Ici quelques caractéristiques des barrages à construire sur les ravins du sous bassin aval.

Tableau 51 : la correction torrentielle des affluents du S.B. Aval

Affluent	Long (m)	Pente (%)	Nombre	Espacement (m)
Hassi ben tamtam	47 000	2,05	12	4000
Aghroum	25 500	2,24	30	850
Boubiada	49 000	1,24	59	833
Messoud	20 500	2,43	44	465
El belle	22 200	1,08	09	2467

Remarque : La hauteur $H = 2$ mètre, $I = 1$ ou 2% .

C'était pour les affluents les plus érodables dans le sous bassin aval avec des seuils rectilignes en aval et curvilignes en amont.

2.4. La lutte contre le sapement des bères : Pendant les écoulements Violent, le courant détruite les berges concaves dans le système des méandres, surtout au niveau de O. El-Hai et Oued Tilatou.

Deux techniques opérationnelles ont été proposées :

A. Les épis : (fig. N °46)

S'appelle aussi les jetés, c'est des seuils transversales fixée dans la rive concave caractérise par :

- La longueur ne dépasse pas 1/3 ou 1/4 de largeur du talweg
- La hauteur ne dépasse pas 1,5 à 2,5 mètre ; selon la profondeur du talweg et la hauteur de l'eau, dans notre cas on prend 1,5 mètre pour Oued EL-HAI et Oued Tilatou.

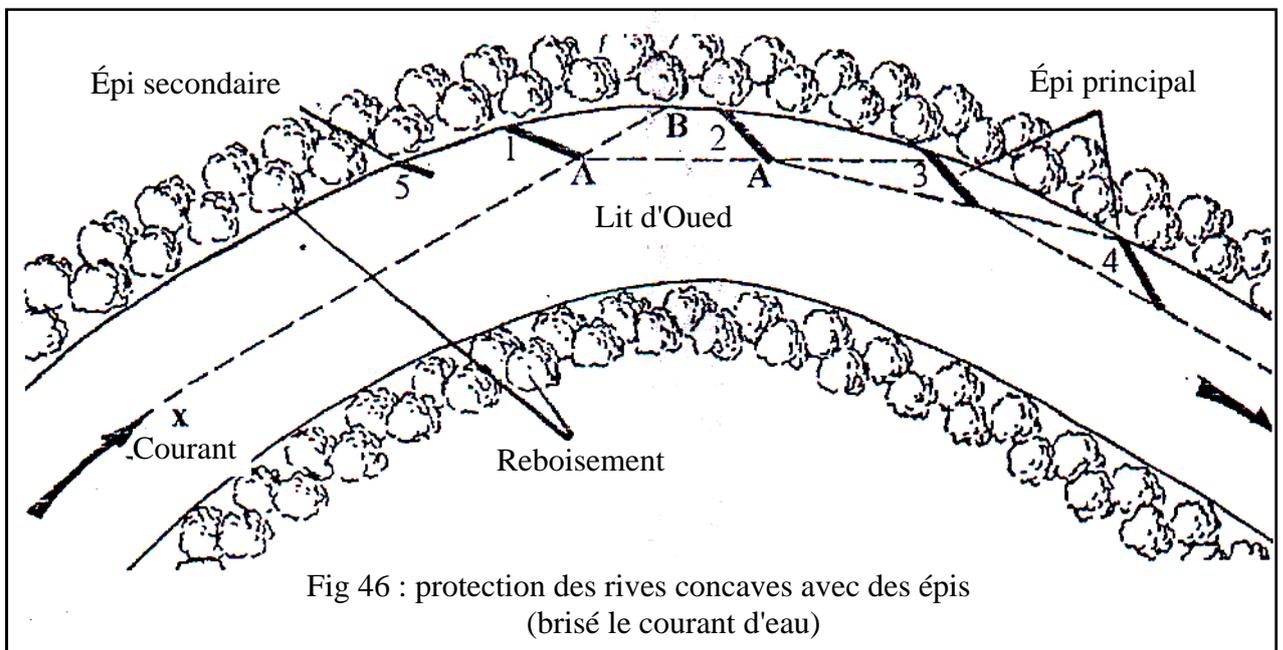


Fig 46 : protection des rives concaves avec des épis (brisé le courant d'eau)

Cette technique permet de partager le courant dans les poches et donc minimiser la force tractrice d'écoulement.

La construction du premier jeté dans le point d'influence de méandre. (le point le plus sensible dans la rive concave); avec une déviation de 45° vers le centre de Oued ; d'où la ligne A X en parallèle avec le courant et se projeté dans la rive sur le point B qui se situe entre les deux premières jetés et la troisième épis; c'est l'intersection de la ligne AA avec la rive et de même façons on peut réaliser les autres, l'espacement entre les épis dans les berges convexes (2 à 2,5 fois la longueur des épis dans les berges concaves), ces derniers doivent être très bien fixées dans les berges et le fond des Oueds, pour assuré une bonne résistance a l'énergie destructive

d'écoulement, surtout que Oued El-Hai est caractérisé par un écoulement des crues violents

b- Le gabionnage :

C'est une boîte de fil en fer galvanisé à remplir par des galets de taille différent, ses avantages :

- encourager l'infiltration.
- La durée de vie peut arriver jusqu'à 25 ans.
- Facile à s'intégrer à l'environnement.
- Disponibilité des matériaux de construction.

La protection des berges avec les gabions n'est pas coûteuse et donne un beau paysage. Ce fait par remplissage l'un sur l'autre pour couvrir les berges, les fondations doivent être de 0,6 à 1 mètre selon la dynamique de l'Oued. Cette méthode est aussi utilisée pour la protection des méandres se forme en escaliers, il faut respecter les dimensions des Oueds (section transversale) pendant la réalisation.

2.5. La protection de la cuvette du Barrage : Avec les gabions, car ils résistent aux forces d'entraînement des vagues d'eaux.

La hauteur des gabions doit être plus de 20 à 30 cm du niveau des berges pour que les sédiments se coincident hors de la cuvette, ainsi que le reboisement autour de la cuvette.

3- Une gestion optimale du barrage :

La méthode la plus utilisée pour récupérer une capacité utile du barrage est la chasse des sédiments par la vidange de fond (Fig N°47).

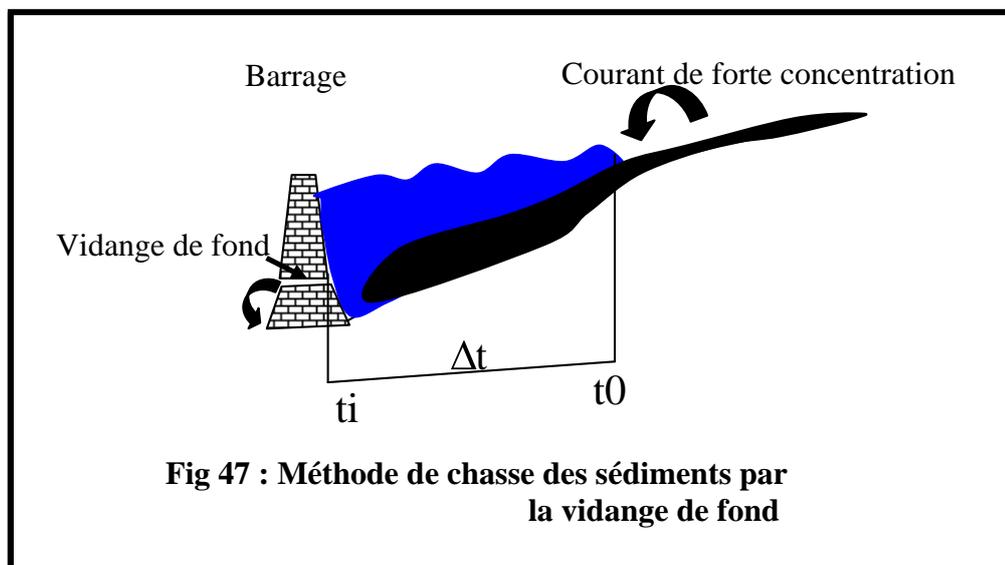


Fig 47 : Méthode de chasse des sédiments par la vidange de fond

L'expérience d'Ighil Edma a montré qu'il est possible d'évacuer 50% des apports solides (Demmak, p : 10). L'efficacité de cette technique dépend de la situation de vidange de fond, qui peut évacuer un débit de $20\text{m}^3/\text{s}$ et la topographie de la cuvette (la pente 2,08%), ces deux conditions sont bonnes dans notre cas.

Mais, elle demande une bonne connaissance de la concentration et de transport des sédiments au fond de la cuvette par ce que:

Une ouverture de vidange avant le temps $\Delta t \Rightarrow$ perte de l'eau.

Une ouverture de vidange après le temps $\Delta t \Rightarrow$ risque sur les équipements de vidange de fond et aussi perte de l'eau; c'est pour cette raison la proposition de fossé de sédimentation permet de garder les éléments charriés de l'Amont, et abaissé celle de l'Aval.

Alors, il faudrait savoir le temps Δt .

Le volume de l'eau perdu par cette méthode, sera récupéré en aval, a partir des canaux traditionnels existants ; depuis la période colonial, destiné a l'irrigation de la plaine de Loutaya.

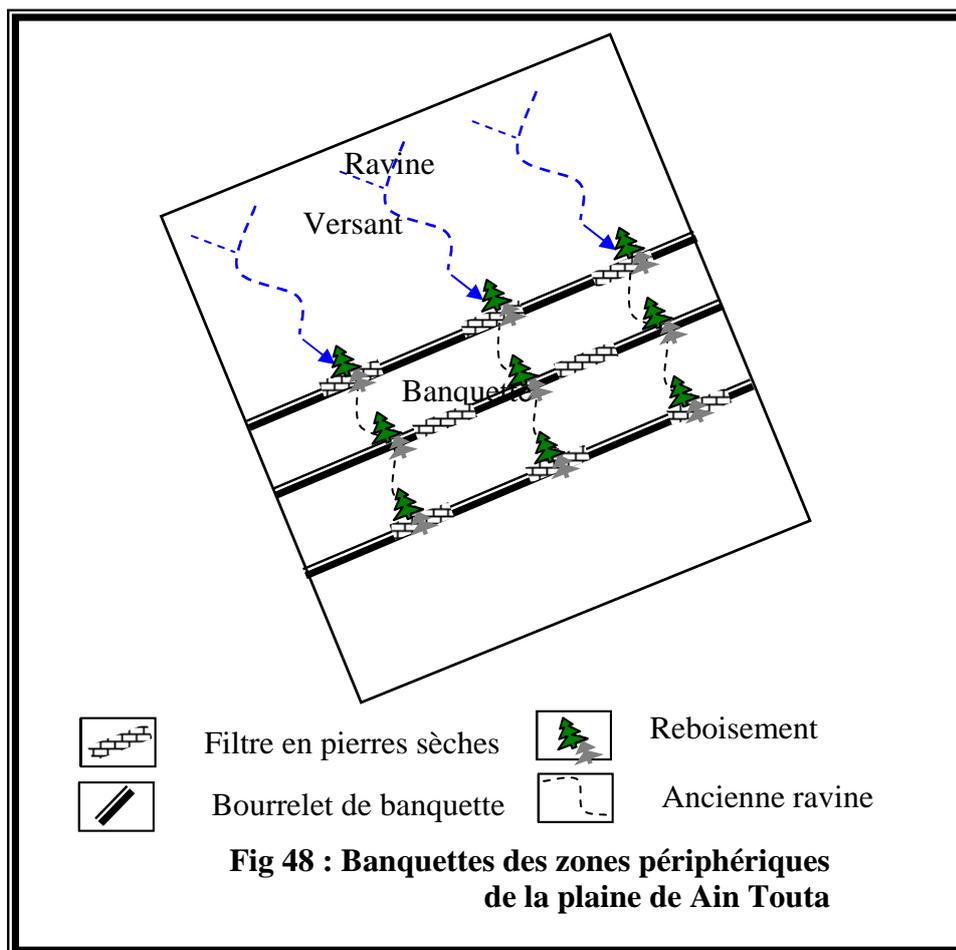
II. INTERVENTION DE MOYEN TERME :

Cette intervention concerne le sous bassin amont. Avec les mêmes propositions des murettes, banquettes, correction des torrents, ... et on peut ajouter d'autres proposition spécifiques à la partie amont.

1) Pour la plaine de Ain Touta :

L'établissement d'un réseau de banquettes constitue une ceinture sur les glacis sur les pentes (3- 8%), avec les mêmes mesure décrit précédemment, mais de la forme illustre dans la Fig N°48, l'intérêt de cette méthode est d'éliminer les ravines et partager les eaux de ruissellement sur la section des banquettes pour augmente l'infiltration.

Ces terrains à faible rendement en céréale, on peut changer le type de culture vers l'arboriculture avec des espèces résistantes aux conditions physiques du sous bassin Amont.



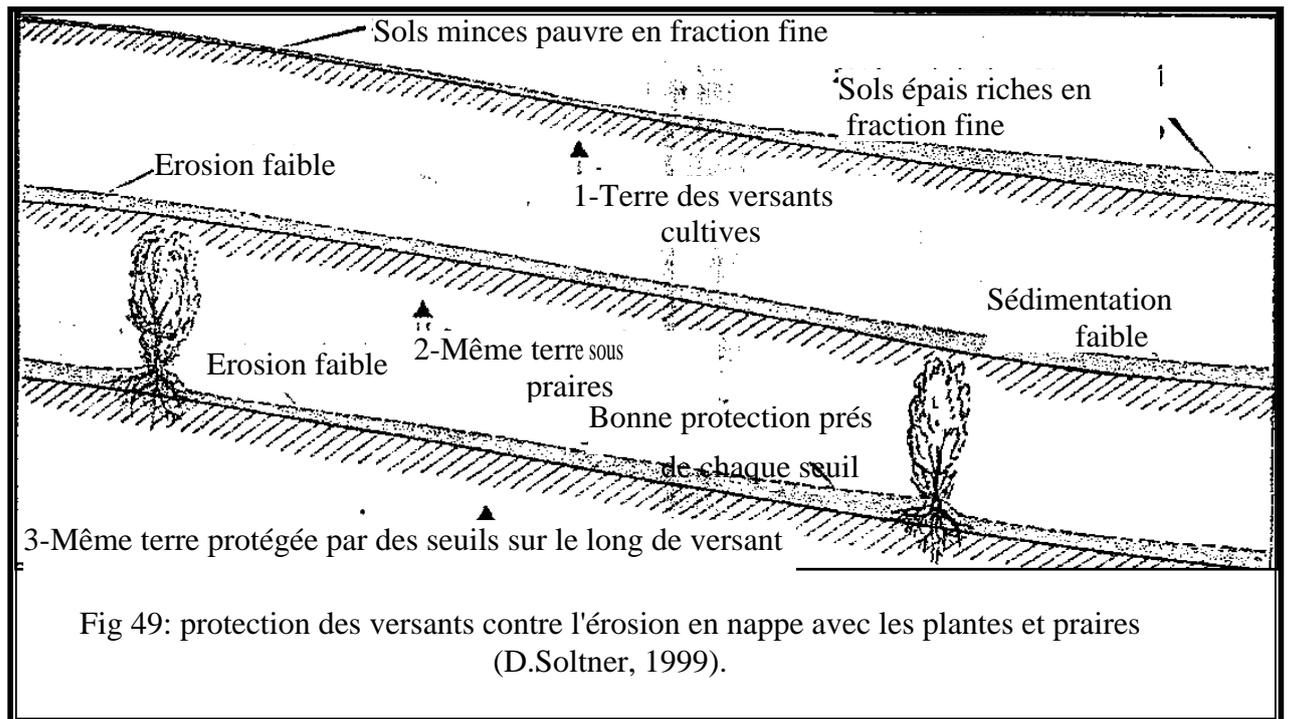
2) L'entretien et la maintenance des anciens ouvrages :

Ils existent deux seuils (barrages) qui ont été réalisés sur Oued Tilatou (Affluent Laksour) pendant la période coloniale pour le transfert des eaux destinées à l'irrigation d'une partie de la plaine de Ain Touta, ces ouvrages sont totalement envasés, la réactivation de ces derniers à un effet de diminution des sédiments transportés ; régularisé le débit de Oued Tilatou (d'ailleurs le pont de la route entre Ain Touta et Barika est détruit) et bénéficier de l'eau pour le développement Agricole. Ainsi que les autres ouvrages routiers.

3) Le reboisement :

La lutte mécanique doit être suivie par une intervention biologique complémentaire.

Les propositions de reboisement (Fig N°49) sont basées sur l'espèce existante dans la zone d'étude et autre expérimentalement adaptées aux différentes conditions de la région, partagé en deux types :



1. Les Arbres Forestiers :

Amélioration des espèces forestiers notamment le chêne vert, pin d'Alep, Genévrier oxycèdre cèdre de l'atlas et genévrier phynicie, on intègre aussi :

- **L'Eucalyptus** : il existe déjà depuis long temps à Ain Touta et a El-Kantara, cet arbre très capable de se développer dans des conditions diverses, sa croissance est très rapide, avec un rendement de bois élève et un système racinaire très dense.

- **Pinus radiata** : préfère le climat semi-aride, se développe sur les altitudes de 1300 mètres sur sols calcimagnésiques de croissance très rapide, la longueur peut arriver à 30 mètre.

2. Les Arbres Fruitiers : Il est reconnu que les tamarins, Oued Fedhala et El-kantara est un réservoir fruitières, presque toutes les variétés existente dans ce couloir, là aussi on peut proposer :

- **OPUNTIA** : sur les murettes et les terres non productives.

- **LE PISTACHIER** : des expériences qui ont montré beaucoup de succès à El-kantara par certains cultivateurs en collaboration avec les sévices des forêts de la région.

4) Amélioration de pâturage :

Devant la faiblesse de production en biomasse de la zone d'étude; il faudrait améliorer le pâturage pour que le milieu régénère la partie Herbacé.

5) le travail du sol : doit être basé sur des techniques scientifiques, qui mettent en considération la sensibilité des terres.

6) proposition des retenues collinaires en Amont au temps que l'apport annuelle est estimé à 22hm^3 et le barrage ne peut régulariser que $14\text{hm}^3/\text{an}$.

III. PROPOSITION A LONG TERME :

Amélioration et développement de la société, par des projets de proximité dans le cadre du plan national de développement agricole (P.N.D.A) dans les zones rurales, surtout le long de Oued Fedhala et El-kantara (O.EL HAI), avec les besoins en électricité et en gaz de ville pour éviter le défrichage de la forêt.

- amélioration de type de culture vers l'arboriculture.

- Intégration de la population dans les travaux de restauration des sols pour abaisser le taux de chômage.

* La création d'un service de protection et conservation des ressources naturelles (eau et sol) en collaboration avec les institutions concernées; parce que les limites administratives ont été souvent un obstacle pour l'intervention sur le milieu, à titre d'exemple : le Bassin versant de Oued El-Hai s'étale en grande partie à la W. de Batna, mais il n'est pas prioritaire en travaux de restauration des sols, qui ont été concentrés au bassin versant du Barrage de Koudiat-Lamdouar.

*** AUTRE PROPOSITION :**

- Réalisation d'une décharge publique dans les anciens fossés de carrière.

- Réalisation d'une station d'épuration pour le contrôle des déchets liquides à Ain Touta.

- utilisation des filtres pour les carrières et la cimenterie de Ain Touta, pour abaisser la pollution de l'air et des sols.

IV. PROPOSITION SCIENTIFIQUE :

Stations de mesures : pour une bonne connaissance des facteurs climatiques et Hydrologiques du bassin versant par :

- installation d'un réseau de contrôle climatique et de débit.

- Contrôle de l'information géographique récente.

- Mesure de la concentration de l'eau dans l'oued principal et pendant l'évacuation des eaux avec la vidange de fond.

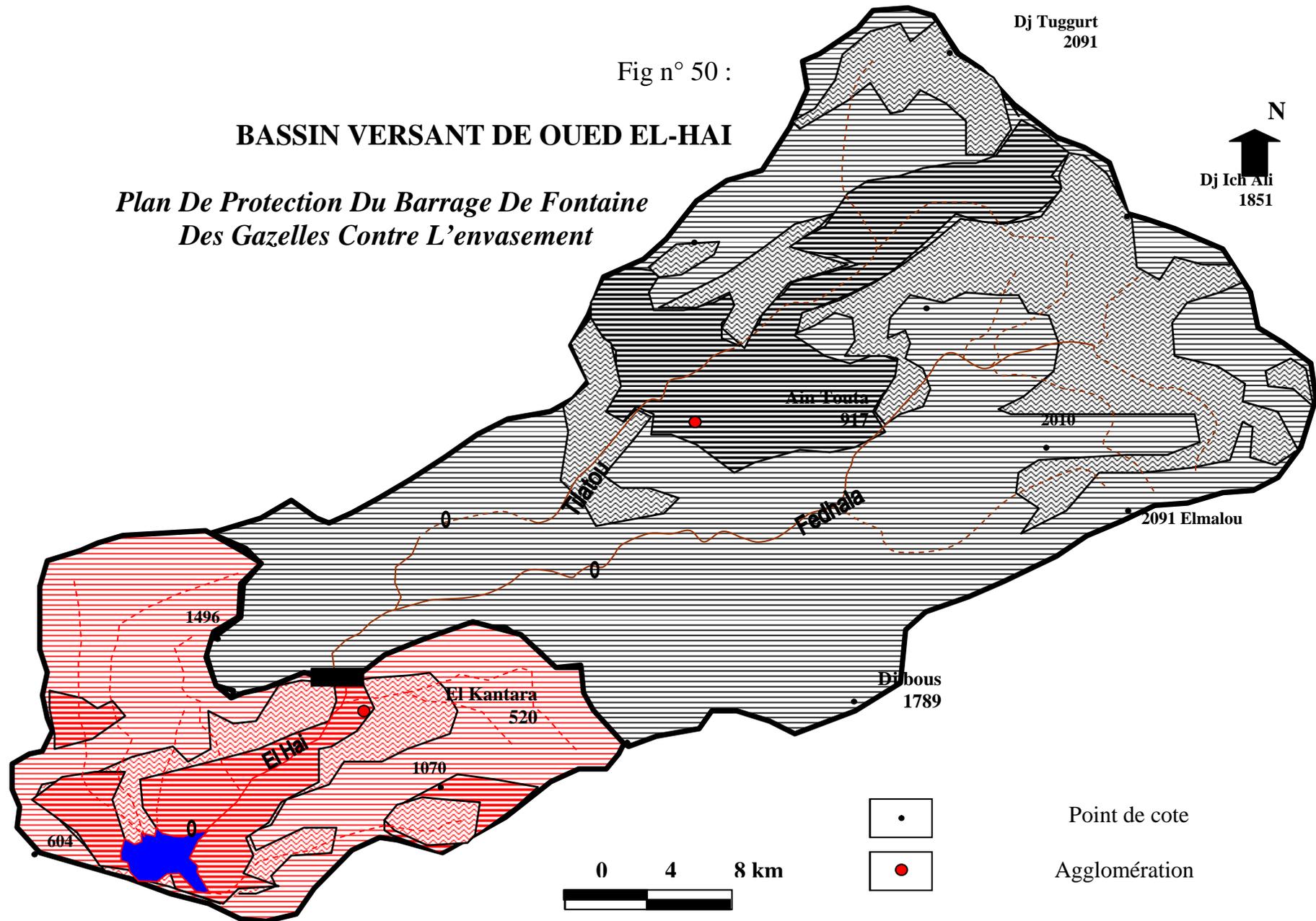
- Réalisation des parcelles expérimentales pour le contrôle de l'érosion.

Fig n° 50 :

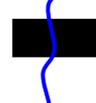
BASSIN VERSANT DE OUED EL-HAI

*Plan De Protection Du Barrage De Fontaine
Des Gazelles Contre L'envasement*

Dj Tuggurt
2091



Légende :

	Banquettes + arboriculture	
	Banquettes + reboisement	
	Murettes en pierre sèche + reboisement (opuntia et arbres forestières)	
	Correction torrentielle	
	Protection de la cuvette du barrage	
	Fossé de décantation	

CONCLUSION :

Toutes ces propositions permettent de minimiser l'érosion dans le bassin versant de Oued El-Hai et donc assurer une durée de vie optimale du barrage de fontaine des gazelles et un développement durable dans la zone d'étude.

CONCLUSION GENERALE :

Le bassin versant de Oued El-Hai est caractérisé par des facteurs constants du milieu physique, qui favorisent le déclenchement de toutes les formes d'érosion. Les pentes sont moyennes à fortes (71,63%), avec des formations semi-perméables (54,71%) et moyenne à faible résistance à l'érosion (63,08%), les caractéristiques morphométriques montrent l'existence d'une dynamique active, justifiée par une densité de drainage entre 2 et 6 Km⁻¹ avec un pourcentage de (68,98%), plus de la moitié des sols sont peu évolués et mal protégés, par une végétation à dominance des maquis dégradé.

Le régime pluviométrique est aléatoire se forme orageux, les variations des températures mensuelles, saisonnières et journalières avec une amplitude thermique qui peut arriver à 15°C; favorisant le déclenchement de tous les mécanismes d'altération physico-chimique ou mécanique.

Le bilan Hydrologique du sous bassin Amont exprime un excès d'eau, qui alimente le ruissellement, par contre le sous bassin aval est déficitaire au cours de l'année.

Le régime hydrologique du bassin versant de Oued El-Hai s'exprime par des crues de fortes puissances d'automne et de printemps, produits par des averses qui caractérisent le climat semi-aride et aride.

L'apport moyen annuel estimé à 22 hm³ ; avec une lame d'eau écoulée de 13 mm et un débit moyen annuel autour de 0,7 m³/s pour la période (1974-2004).

L'activité la plus fréquente en réalité est l'agriculture, essentiellement l'élevage (agriculture sédentaire).

L'impact de la population sur le milieu naturel se traduit par plusieurs phénomènes, notamment les incendies, défrichement de la forêt et le surpâturage,....

En général, le bassin versant de O. El-Hai englobe quatre zones homogènes de risque potentielle d'érosion, qui se caractérisent par une dégradation moyenne annuelle variant de 3,46 à 170,95 t/ha/an, dans lesquelles une zone à risque d'érosion faible par contre les trois autres sont de risque sévère à excessive, où la perte moyenne annuelle du bassin versant estimée à 47 T/ha/an. Les formules de la Sogréah et Gavrilovic sont les plus adéquates aux conditions de la zone d'étude, avec un taux d'abrasion autour de 500 T/Km²/an. Ce qui laisse le barrage de fontaine des gazelles exposé au risque d'envasement.

Cette situation, nous a conduit de mise en place d'un plan de protection, qui est le résultat de l'assemblage des techniques et propositions permettant de minimiser l'intensité de l'érosion dans le bassin versant d'Oued EL HAI, et donc assuré une durée de vie plus long du barrage de fontaine des gazelles.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages:

- BRAVARD JEAN-PAUL et PETIT FRANCOIS:les cours d'eau dynamique du système fluvial, édition Armand colin2000.
- Gabriel Jamme, 1974:Travaux fluviaux, collection de la direction des études et recherches d'électricité de France.
- Gilles.G, Philippe, R : Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en Vignoble de coteau. Guide à l'usage des aménageurs, éditions Cemagref ; 1995.
- GRECO Jaques,1966: L'érosion la défense et la restauration des sols le reboisement en Algérie.
- Gril Jean-joël. et Bernard.du voux : Maîtrise du ruissellement et de l'érosion. Conditions d'adaptation des méthodes Américaines, éditions Cemagref ; 1991.
- Remini.b, Avenard.j.m : Envasement des barrages, éditionCEDOC2003.
- SARI AHMED:L'hydrologie de surface, édition HOUMA2002.
- SELTZER P:le climat de L'ALGERIE, institut de météorologie Alger.
- SOLTNER.Dominique : les bases de la production végétale, tome II; le climat météorologie-pédologie-conservation des sols, 8^e édition Collection sciences et techniques agricoles, 1999.
- VEYET YVETTE : l'érosion entre la nature et la société .édition MASSON.

THESES:

- Bellion ,yves J.-C : Etude géologique et hydrologique de la terminaison occidentale des monts du Bellezma(Algérie), thèse de doctorat 3^{ème} cycle, université de Paris VI , 1973.
- DEMMK.A. : contribution a l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale, université PIERRE et MARIE CURIE- paris6- 1982.
- LAFFITE.R. :Esquisse géologique d'Aurès,1939.
- MEBARKIA: le bassin du kebir –Rumel (Algérien), hydrologie de surface et aménagement des ressources en eaux, thèse de doctorat 3^{ème} cycle, université Nancy II, 1982.
- Sarrab.N. : Etude de l'agressivité des pluies sur le sol de quelque station Est Algérien. Thèse de magister, université de Constantine, 1982.
- Yahiaoui.A.ouhab: la partie inférieur de la série marno-calcaire du crétacé supérieur (cénomaniens supérieur à coniacien inférieur) entre Batna et EL-kantara, thèse doctorat université de NANCY I ,1990.

Revues:

- Bulletin N°16:états de surface du sol et risque de ruissellement et d'érosion, réseau érosion .centre ORSTOM, 1995.

- Bulletin N°17:érosion méditerranéennes. Centre ORSTOM, 1997.
- Cahiers ORSTOM, N°1-2: série pédologie, spécial Erosion, 1989-90.
- Rummel N°6: Nemouchi.a.elmalek, l'envasement des barrage en Algérie, 1998.
- l'houille blanche, n°3 et4, société hydrotechnique, France.Kassoul.M, prédétermination de la duré de vie des barrage en Algérie, 1999.
- Guide maghrébine pour l'exécution des études et des travaux retenues collinaires, mai.1987.
- STEVAN BRUK, rapport janvier, 1986(UNESCO, Paris): méthodes de calcule de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs.

Mémoires:

- Abeche hakima: caractérisation physico-chimique et minéralogique des sols de la plaine de Loutaya, institue d'agronomie, option:pédologie, 2000-2001.
- Belhouchet Belaid:cartographie des sols d'EL-mbiridi W Batna, essai d'étude micromorphologique, institue d'agronomie, option:pédologie, 1989-90.
- Bouzaffa.A et Benslimane.R: contribution a l'étude hydrogéologique de la région de BATNA (tazoulte, aintouta), mémoire d'ingénieur, option hydrogéologie, université de Constantine, 1997.
- HENRI ILBOUDO: approche quantitative de l'érosion hydrique á L'aide d'un simulateur de pluie, (mémoire d'ingénieur d'état, option: hydraulique, INA, 1990-91).
- HIMRANE.HOCINE: caractérisation de l'agressivité climatique du B.V du CHELIF essai de cartographie du risque potentiel d'érosion pluviale dans le sous bassin OUED SLY (mémoire d'ingénieur d'état, option: hydraulique, INA, 1990-91).
- Odeh Lyna:étude toposeqentielle (essai minéralogique) dans la région de RasElma Aintouta, institue d'agronomie, option:pédologie, 99-2000.
- Oum E . H et Mohamed .M.K: approche de la dégradation du milieu naturel par analyse multicritères appliqué sur le bassin versant de l'oued zaiane(soummam), mai,2004.
- Rouahna Houria: dynamique de la matière organique dans les roches gypseux de la région d'El-Kantara, institue d'agronomie, option:pédologie, 2002-2003.

Les cartes :

- Topographiques :
Batna et Barika (1/200 000)
Batna, Ain Touta, Arris, Menâa, Tamarin, El-kantara, Tazoulte, Merouana et N'gaous (1/50 000).
- Esquisse géologique des Aurès, LAFFITE.R1939 (1/200 000).
- carte pluviométrique de l'Algérie (1/500 000).
- carte pédologique de Batna (1/200 000).
- carte d'occupation des sols (1/50 000).

Résumé :

La quantification de l'érosion en nappe dans le versant sud des Aurès, et précisément le Bassin versant de Oued EL Haï qui est équipé par un Barrage à son exutoire; sous un climat semi-aride à aride. On a procédé de trois façons différentes : Une première approche consiste à déterminer les différents facteurs qui participent dans la dynamique des matériaux et la délimitation des zones en fonction de ces facteurs.

Dans la deuxième partie, l'application du modèle universel de la perte des sols, avec une méthode mathématique d'extrapolation des paramètres de la formule; a montré une érosion excessive et alors un envasement rapide du barrage de Fontaine des gazelles.

Enfin, la mise en place d'un plan de protection de l'ouvrage hydraulique avec des techniques de restauration des sols.

Mots clés : Erosion, quantification, Bassin versant, Oued El Haï, zones homogènes, Barrage, envasement, protection, USLE.

ملخص

لقد تضمنت هذه الدراسة تقييم التعرية الغشائية في السفح الجنوبي لمنطقة الأوراس وبالضبط حوض وادي الحي عند سد منبع الغزلان، الذي يسوده مناخ شبه جاف إلى جاف على مستوى أقدام جبال الأوراس. ولبوغ الهدف تتبعنا عدة خطوات.

أولها استخراج و حصر مختلف العوامل المشتركة التي تؤدي إلى الزيادة في ديناميكية المواد داخل الحوض و الخروج بأربعة مناطق متجانسة من حيث حدة و شدة هذه العوامل أما الخطوة الثانية فتتمثل في تطبيق المعادلة العامة لفقد الأراضي في كل منطقة متجانسة وذلك باستعمال طرق رياضية تعتمد على مبدأ تعميم كل معامل في هذه المعادلة، وبذلك توصلنا إلى أن سد منبع الغزلان معرض للتوحد في أجل أقل مما سجل أثناء الدراسة الأولية للمشروع، ولهذا السبب تم إنجاز مخطط الحماية من خطر التوحد وبالتالي ضمان أطول عمر ممكن لهذا الإنجاز الحيوي الهام.

الكلمات المفتاحية: حوض تجميحي، التعرية، التقييم، وادي الحي، مناطق متجانسة، سد، التوحد، الحماية، المعادلة العامة لفقد الأراضي.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.
This page will not be added after purchasing Win2PDF.