

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediène
Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et
de l'Aménagement du Territoire

Mémoire présenté pour l'obtention du diplôme de MAGISTERE

Option : Géomorphologie

Thème

Évolution géomorphologique et morphodynamique
du bassin versant de Oued Agrioun à l'amont du Barrage
de Ighil Emda (Région de Kherrata)

Présenté par HAMDANI Aziz

Soutenu publiquement le : 01/07/2012 devant le jury composé de

A .BOUTALEB :	Professeur	à F.S.TG.A.T / USTHB	: Président
M .GUENDOUZ :	Professeur	à F.S.TG.A.T / USTHB	: Directeur du mémoire
M. BOUTIBA :	Professeur	à F.S.TG.A.T / USTHB	: Examineur
B.CHIBANE :	Maître de conférences A	à F.S.TG.A.T / USTHB	: Examineur

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents.

A mon épouse Leïla pour son dévouement et ses sacrifices.

A toute ma famille.

A mes amis de la promotion PG

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, il m'est très agréable d'exprimer mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

Je tiens à exprimer ma profonde reconnaissance et mes vifs remerciements au Professeur Guendouz Mostefa pour avoir accepté de diriger ce modeste travail, pour ses directives et ses précieux conseils.

Mes remerciements vont au Pr Boutaleb Abdelhak d'avoir accepté de présider le jury. J'adresse mes remerciements aux membres de jury : Au Pr Boutiba Makhoulouf et le Maître de conférences B. Chibane, qui ont bien voulu et accepté de juger ce travail.

Mes vives gratitude vont également à l'ensemble des Professeurs qui nous ont encadrés durant notre première année de Magister : Gettouche Mohamed Said, Bounif Abdelah et Boudela.

Je tiens par ailleurs à exprimer ma reconnaissance aux professeurs du laboratoire de la géomorphologie.

Mes remerciements vont à l'équipe du service de l'hydrologie de l'ANRH pour m'avoir aidé à acquérir les données en rapport avec le climat et l'hydrologie.

Je dois de vifs remerciements à Melle Belmouhamedi de la Direction générale des forêts pour la mise à disposition des archives ayant rapport avec mon étude.

Je n'oublierai sans doute pas de remercier M Zerguini, ingénieur à la SONELGAZ de Derguina pour l'aide qui m'a accordé en mettant à disposition des données précieuses et utiles.

Mes remerciements vont à l'équipe du service de poste graduation de la faculté des sciences de la Terre.

Je tiens, enfin, à remercier tous mes amis pour leurs encouragements, leurs sympathies et affections

**EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE ET MORPHODYNAMIQUE DU BASSIN
VERSANT D'OUED AGRIOUN A L'AMONT DU BARRAGE D'IGHIL EMDA
(REGION DE KHERRATA)**

TABLE DES MATIERE

INTRODUCTION GENERALE	7
1 PROBLEMATIQUE	7
2 OBJECTIFS ET PLAN DE L'ETUDE	8
3 PRESENTATION, LOCALISATION ET LIMITES DE LA ZONE D'ETUDE.....	10
4 METHODOLOGIE GLOBALE.....	12

ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION :	15
1 ANALYSE TOPOGRAPHIQUE	15
Introduction	15
1.1 LES ENSEMBLES TOPOGRAPHIQUES	17
a- le domaine montagneux.....	17
b- les vallees	18
c- la depression du barrage.....	18
1.2 LE SYSTEME DES PENTES.....	19
2 GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE	21
2.1 LA STRATIGRAPHIE	22
2.1.1 Le secondaire :	22
2.1.1.1 Le Trias	22
2.1.1.2 Le Jurassique.....	22
2.1.1.3 Le Crétacé.....	22
2.1.2 Le Tertiaire	23
2.1.3 Le Quaternaire	23
2.2 LA TECTONIQUE.....	27
2.3 L'EVOLUTION PALEO GEOGRAPHIQUE	30
3 LES DONNEES PEDOLOGIQUES :	32
3.1 CLASSE DES SOLS MINER AUX BRUTS.....	32
3.2 CLASSE DES SOLS PEU EVOLUES	32
3.2.1 Groupe des sols peu évolués d'érosion :	32
3.2.2 Groupe des sols peu évolués d'apport colluvial :	32
3.3 CLASSE DES SOLS CALCI-MAGNESIQUES	33
3.3.1 Groupe des rendzines.....	33
3.3.2 Groupe des sols bruns calcaires.....	33
4 LE COUVERT VEGETAL.....	34
5 ANALYSE DES FACTEURS CLIMATIQUES	35
Introduction	35
5.1 CLIMAT GENERAL DE LA ZONE	36
5.2 LES TEMPERATURES	36
5.3 LES PRECIPITATIONS.....	37
5.3.1 Données exploitées et stations retenues	37

Les stations retenues.....	37
5.3.2 Contrôle des séries d'observation	38
5.3.3 Application de la méthode des rapports pour le comblement des lacunes.....	40
5.3.4 Précipitations moyennes interannuelles.....	40
5.3.5 Précipitation moyenne interannuelle sur le bassin versant.....	41
5.3.5.1 Méthode de moyenne arithmétique	42
5.3.5.2 Méthode de Thiessen	42
5.3.6 Variation interannuelle des précipitations.....	43
5.3.6.1 Variabilité interannuelle	43
5.3.6.2 Écart à la moyenne	44
5.3.7 Précipitations mensuelles interannuelles	44
5.3.8 Précipitations journalières maximales.....	46
5.3.9 Études fréquentielles des pluies.....	46
5.3.9.1 Études fréquentielles des pluies annuelles	47
5.3.9.2 Études fréquentielles des pluies journalières maximales	50
5.4 LES PHENOMENES CLIMATIQUES SECONDAIRES.....	52
5.5 L'EVAPORATION SUR UNE NAPPE D'EAU LIBRE.	53
6 SYNTHÈSE CLIMATIQUE.....	55
6.1 LA RELATION OMBRO-THERMIQUE DE GAUSSEN ET BAGNOLS	55
6.2 LES INDICES BIOCLIMATIQUES	55
7 ANALYSE GRAPHIQUE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	57
7.1 LECTURE ET ANALYSE DE LA CARTE DU CHEVELU HYDROGRAPHIQUE.....	58
7.2 ANALYSE TYPOLOGIQUE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE.....	58
CONCLUSION DU PREMIER CHAPITRE.....	60
CHAPITRE DEUXIEME	
EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE ET MORPHODYNAMIQUE	
1 CARTOGRAPHIE GEOMORPHOLOGIQUE.....	62
1.1 OUTILS, TECHNIQUES ET METHODOLOGIE DE CARTOGRAPHIE	63
1.2 COMMENTAIRE ET ANALYSE DE LA CARTE GEOMORPHOLOGIQUE	64
1.2.1 Le contexte morfo-structural.....	65
1.2.1.1 Les grands ensembles morfo-structuraux.....	65
1.2.2 La morphologie des versants.....	66
1.2.2.1 Des versants taillés dans des séries meubles	67
1.2.2.2 Des versants taillés dans des séries à alternance cohérente-meuble	67
1.2.3 La morphologie fluviale (Hydro-géomorphologie)	68
1.2.4 Formes d'accumulation et zones d'épandage.....	73
1.2.5 Les principales formes d'érosion (Typologie).....	73
1.2.5.1 Formes d'érosion linéaire (ravins) :	73
1.2.5.2 Les formes d'érosion en masse (Glissements).....	74
1.2.5.3 Formes d'érosion par gravité (formes colluviales)	75
1.2.6 les principaux processus d'érosion (Morphogénèse).....	76
1.2.6.1 L'Érosion hydrique	77
1.2.6.2 Érosion mécanique	77
1.2.7 Les formations superficielles	78
1.2.8 l'héritage géomorphologique	79
2 HYDROLOGIE DES OUEDS DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE D'IGHIL EMDA .	80
2.1 ÉTUDE STATISTIQUE DES DONNEES EXPERIMENTALES DES APPORTS LIQUIDES ARRIVANT AU BARRAGE	82
2.1.1 Ajustement des apports liquides à la loi de Gumbel :	82
2.2 ESTIMATION DES APPORTS ANNUELS DES OUEDS A L'AIDE DE FORMULES EMPIRIQUES.....	83
2.3 CALAGE DES VALEURS ESTIMEES AVEC LES VALEURS MESUREES	83

2.4 APPLICATION DE LA FORMULE DE COUTAGNE I POUR ESTIMER L'APPORT DE L'ANNEE 1984
84

**3. QUANTIFICATION DE L'EROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN VERSANT PAR
APPROCHE EMPIRIQUE 84**

3.1	Études antérieures effectuées sur le bassin versant :	84
3.2	Approche méthodologique adoptées dans notre étude	85
3.3	Valeurs mesurées des sédiments du barrage.....	85
3.3.1	Les mesures des apports solides (compagnes 1982 à 1984).	85
3.3.2	Les mesures des apports solides (compagnes, 1974 à 1981).	86
3.3.3	Les mesures des apports solides (compagnes, 1953/54, 54/55 et 55/56).....	86
3.3.4	Les données de l'envasement et de soutirage du barrage	87
3.3.5	Valeurs moyennes de sédimentation et de soutirage du barrage de Ighil Emda 87	
3.4	Estimation de l'érosion par application des relations empiriques	88
3.4.1.	Formule de TIXERONT	88
3.4.2.	Formule DE FOURNIER.....	88
3.4.3.	Formule de GAVRILLOVIC	89
3.4.4.	Abaque « HUSSON »	89
3.4.5.	Formule de WISCHMEIER ET SMITH (1976)	90
3.5	Présentation des résultats de calcul obtenus.....	91
3.6	Calage des résultats obtenus par les formules empiriques avec les données mesurées.....	92
3.7	Reconstitution de quelques petites crises érosives depuis 1953, selon la relation de GAVRILLOVIC	93

**4. ETUDE DE L'EVOLUTION MORPHOLOGIQUES PAR APPROCHE DIACHRONIQUE
94**

a.	methodologie de travail	94
b.	apports de l'enquete et du travail du terrain	95
4.1	Etude diachroniques de la photo-interprétation	95
4.2	Etude diachroniques par Exploitation des Témoins matériels.....	99
5.	LES CAUSES DES CHANGEMENTS LA MORPHOGENESE DANS LE BASSIN VERSANT	100
5.1	Les facteurs intrinsèques.....	100
5.2	Les facteurs extrinsèques.....	101
5.3	Les facteurs anthropiques	101
5.3.1.	Analyse cartographiques d'habitat	103
5.3.1.	Les Conséquences De L'anthropisation.....	103

CONCLUSION DU CHAPITRE DEUXIEME..... 104

CONCLUSION GENERALE..... 105

BIBLIOGRAPHIE.....108

LISTE DES FIGURES.....110

LISTE DES TABLEAUX.....112

LISTE DES PHOTOS.....113

ANNEXE.....114

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

1 Problématique

L'Algérie du nord, partie intégrante du Maghreb et du domaine tello-atlasique, est constituée essentiellement d'ensembles topographiques à caractère montagneux, caractérisés par un système de pente complexe associant des versants courts et à forte déclivité, aux couverts végétaux clairsemés voir absents par endroit et d'une lithologie tendre et fragile. Même le climat de ces régions se caractérise par une pluviométrie insuffisante et mal répartie, aussi bien dans l'espace que dans le temps. L'année hydrologique, également, se caractérise par des précipitations rares et très irrégulières mais souvent agressives impliquant des intensités fortes dépassant parfois 30mm par heure.

Très affectés par le changement climatique qui s'opère à travers le monde, les pays du Maghreb glissent vers la semi aridité, voire l'aridité (PNUD, 2002). Ainsi, l'érosion hydrique en Algérie et à travers toute la zone tellienne est souvent à l'origine de la dégradation des sols et au recul des superficies agricoles.

Cette situation a conduit aussi à la défiguration des paysages morphologiques et agro-pastoraux et à la diminution de la productivité des terres et au dysfonctionnement du système hydrologique à travers la plupart des zones de montagnes. Une situation qui a conduit également à la réduction de la capacité des barrages, dont plusieurs ont atteint un niveau très élevé et même spectaculaire d'envasement. Ceci relèverait, sans doute, du fort taux d'érosion dans les bassins versants, une érosion qualifiée des plus dramatiques sur le pourtour méditerranéen, avec une érosion spécifique moyenne annuelle variant entre 2000 et 4000 t / km². Avec ces valeurs, selon Demmak (1982), l'Algérie se classe parmi les pays les plus érodables du monde.

La prise en compte de l'érosion des sols dans une politique environnementale et agricole durable représente donc une priorité majeure, car l'érosion peut provoquer des dégâts considérables à l'économie du pays par la dégradation des sols et la perte des terres agricoles.

Cette situation est perceptible à travers plusieurs exemples de l'Algérie tellienne, et plus particulièrement à travers le secteur d'étude que nous avons choisi dans le cadre de ce mémoire de Magister, celui du bassin versant du Barrage de Ighil Emda.

Il s'agit, en effet, d'un bassin versant qui occupe un territoire de la petite Kabylie, à mi chemin entre la ville de Sétif au sud, la ville de Jijel au NE et la ville de Bejaïa au NW.

Ce bassin versant n'est, en fait, qu'une infime partie de l'Atlas tellien nord-centre de l'Algérie littoral et sublittoral. Nous l'avons choisi simplement par le fait qu'il soit parmi les plus représentatifs de

cette frange tellienne de l'Algérie septentrionale sur le plan du grand développement des phénomènes érosifs, notamment ceux liés au ravinement.

Dans le bassin versant du Barrage de Ighil Emda, qui est subdivisé en trois principaux sous bassins versants, un changement très important marque le fonctionnement de son système fluvial, ce changement se traduit dans l'espace par le système de transfert sédimentaire (morphogenèse accélérée). Actuellement nous assistons au phénomène d'exhaussement incessant du barrage et du lit du Barrage de Ighil Emda, à cause de la faiblesse de l'évacuation des sédiments transportés par l'oued au-delà du barrage d'Ighil Emda.

Notons aussi que ce barrage reçoit d'importantes quantités de matériaux fins issus des trois principaux affluents du Barrage de Ighil Emda. La capacité de stockage de ce barrage diminue progressivement d'une année à l'autre, elle est passée de 154 hm³ en 1952 à 102 hm³ en 1994 (dernière observation).

Les risques encourus par le dysfonctionnement du système fluvial et l'hydrosystème du BV sont graves, ils touchent essentiellement les enjeux économiques de la région (inondation, érosion et appauvrissement des sols cultivables, disparition de certaines espèces végétales, déséquilibre du système aquifère, défiguration des paysages).

Ainsi, pour mieux étudier ces problèmes nous avons choisi le sous bassin versant de **l'oued Attaba** que nous considérons le plus représentatif de la totalité du bassin versant du Barrage de Ighil Emda, car nous jugeons qu'il est le mieux placé de cette région pour l'étude des phénomènes érosifs et plus particulièrement ceux du ravinement.

2 Objectifs et plan de l'étude

Ainsi, dans le cadre de la préparation de ce mémoire de magister, le présent travail a pour thème l'étude de l'évolution géomorphologique et morphodynamique du bassin versant du Barrage de Ighil Emda à l'amont du barrage d'Ighil Emda, un travail qui a pour objectif de mieux comprendre et de mieux préciser les grands traits de la dynamique actuelle des principaux affluents du Barrage de Ighil Emda à l'amont du barrage. Il s'agit aussi de dresser un bilan synthétique des 60 dernières années, dont l'année de référence zéro est celle de la mise en service du barrage, en l'occurrence l'année 1953.

Cette étude a pour objectif également :

- la réalisation d'une cartographie géomorphologique détaillée qui indique la répartition spatiale des unités paysagères géomorphologiques et leurs formations superficielles associées,
- le zonage des secteurs vulnérables à l'érosion hydrique,

- la description et la cartographie des principaux oueds à l'origine de l'envasement du barrage d'Ighil Emda, tels que les oueds Attaba, Sidi M'Barek, El Berd,

- la description de l'évolution des environnements sédimentaires des affluents du Barrage de Ighil Emda, une description qui peut aboutir à la compréhension de la dynamique morfo sédimentaire de ce bassin versant dans une perspective d'aménagement et de lutte contre l'érosion.

Cette étude a pour intérêt, enfin, de combler le manque de données sur la région, particulièrement celles du cadre physique et d'identifier les facteurs et les causes à l'origine de la dégradation du milieu dans cette région.

Ce sont là, les principaux points qui feront l'objet de cette analyse en subdivisant le présent mémoire en deux chapitres et dont chacun est réservé à l'étude d'une partie des problèmes abordés.

Dans le premier chapitre, il sera question de décrire tous les éléments qui composent le bassin versant du Barrage de Ighil Emda et situer le contexte général de la zone d'étude. Il s'agit d'aborder les principales composantes du relief et l'organisation structurale de chacune d'elles et de cerner, en même temps, les caractères géologiques, biogéographiques, surtout climatiques et le contexte socioéconomique de l'ensemble du secteur étudié. Ceci sans oublier d'appréhender aussi l'imbrication de l'ensemble des données et surtout l'interaction des facteurs régissant ce milieu, y compris ceux du contexte socio-économique.

Dans le deuxième chapitre, ils seront abordés toutes les questions relatives à l'analyse de l'évolution géomorphologique du bassin versant du Barrage de Ighil Emda. C'est un chapitre qui sera consacré à la cartographie des phénomènes érosifs avec la définition des grandes familles d'érosion et qui abordera, en même temps, la répartition spatiotemporelle de chacune d'elles et sera consacré également à l'étude descriptive et quantitative de l'érosion mais qui ne peut se faire sans l'étude de l'ensemble des éléments responsables de l'évolution géomorphologique et hydrodynamique du bassin versant du Barrage de Ighil Emda. On abordera dans le même chapitre l'analyse des éléments hydrologiques avec un aperçu sur le climat et le comportement des composantes physiques du bassin versant vis-à-vis des forçages externes (érosion et transport de matériau) c'est pourquoi une attention particulière est portée sur l'étude des aspects hydrologiques des oueds.

Dans ce chapitre, une étude hydrogéomorphologique diachronique se portera sur la section d'un Oued et qui consiste en une comparaison des éléments de l'un des oueds affluents du barrage, en l'occurrence Oued Etaba, par le croisement des documents cartographiques de dates différentes (cartes topographiques, série de photos aériennes et d'images satellitaires, en plus de quelques profils en travers à différentes époques). Ainsi, une synthèse sur les grands traits de l'évolution géomorphologique sera faite à la lumière des résultats obtenus.

3 Présentation, localisation et limites de la zone d'étude

Hydrologiquement parlant et selon la codification de l'ANRH, le bassin versant étudié fait partie du grand bassin versant du constantinois portant le code 3 qui est à son tour subdivisé en grands sous bassins versants dont le Bassin de Ighil Emad qui porte le code 302. Géographiquement, le bassin versant du Barrage de Ighil Emda est situé à l'Est de l'Algérie à 300 km d'Alger, dans la Kabylie des Babors de la frange nord de l'Algérie tellienne et s'étend sur une superficie d'environ 645 km² et un périmètre de 145 Km avec une largeur moyenne de 20 km, Sur le plan morpho métrique ; l'indice de compacité (gravilus) du bassin versant est de 1.60 qui traduit une forme allongé, son coefficient de forme est de 1.59. La longueur et la largeur de son rectangle équivalent sont respectivement **62,10 m** et **10,36 m**.

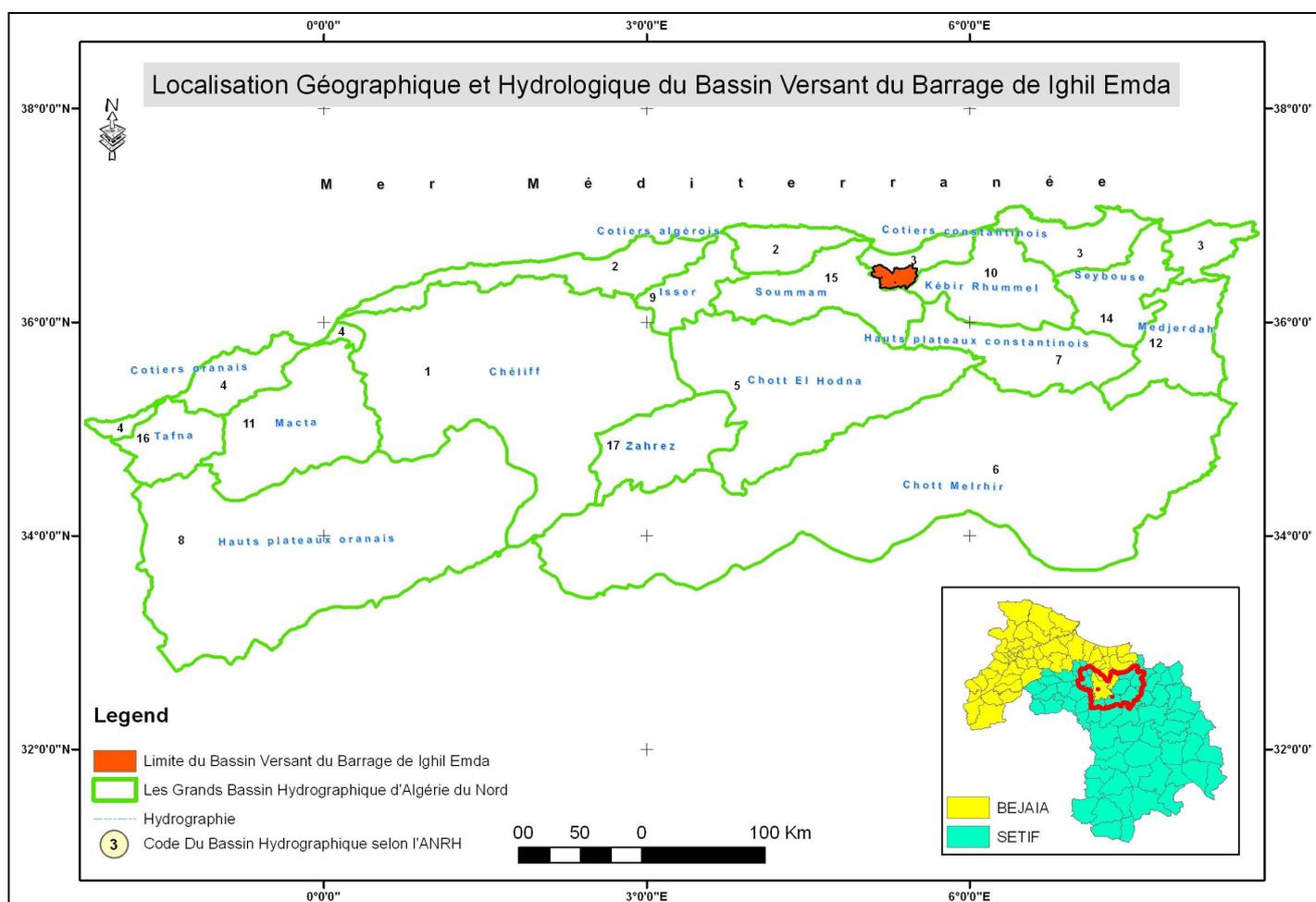


Fig. 1 : Présentation, situation géographique et limites du bassin versant du Barrage de Ighil Emda.

Sur le plan administratif, le territoire du bassin versant du Barrage de Ighil Emda chevauche sur deux wilayas : Sétif et Bejaia avec 15 communes appartenant à Sétif et dont quelques unes sont intégralement incluses et d'autres partiellement, et deux (02) autres communes appartenant à la wilaya de Bejaia, dont une est entièrement incluse (Draa El Kaid) et l'autre partiellement (Kherrata).

Le bassin versant est drainé par le barrage hydraulique d'Ighil Emda qui constitue la confluence de trois principaux grands oueds (O.El Bared, O.Ettaba, O. M'Barek), le barrage peut accumuler 155Mm3 dans son état initial.

Le bassin versant du barrage de Ighil Emda peut être subdivisé en quatre principaux sous bassins versant élémentaires (Fig 2) dont les dénominations et les caractéristiques morpho métriques sont présentées dans le Tab. récapitulatif n° 1 suivant :

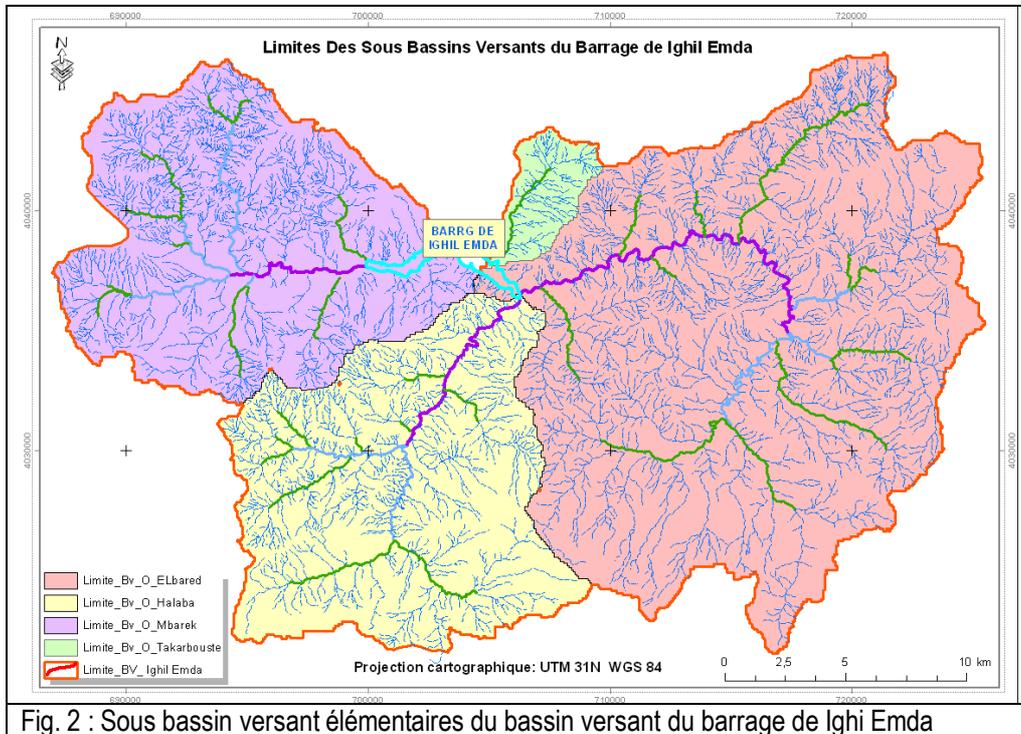


Fig. 2 : Sous bassin versant élémentaires du bassin versant du barrage de Ighi Emda

Tab. 1 : Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant du barrage de Ighil Emda et ses sous bassins versants élémentaires.

BASSINS VERSANT				O.ELBARED	O.ETTABA	O ;MBAREK	O.TAKEBO USTE	IGHIL EMDA	
CARACTERISTIQUES		SYMBOLES	UNITES	VALEURS					OBSERV ATIONS
CARACTERISTIQUES PHYSIQUES:									
SUPERFICIE		S	Km ²	317	154	155	15,0	644	
PERIMETRE		P	km	89	53,7	52,3	18,0	145	
LARGEUR MOYENNE		lmoy	Km	8,90	8,32	9,01	2,2	20,13	
COEFFICIENT DE FORME		Cf	-	4,00	2,22	1,91	3,1	1,59	
INDICE DE COMPACITE		Ic	-	1,40	1,21	1,18	1,3	1,60	BV Allongé
RECTANGLE EQUIVALENT:									
	LONGUEUR	Lre	Km	35,60	18,50	17,20	6,8	62,10	
	LARGEUR	Ire	Km	8,90	8,33	8,99	2,2	10,36	
ALTITUDES:									
	MIMIMALE	Hmin	m	520	520	520	520,0	520	
	MOYENNE	Hmoy	m	971	897	867	872,0	925	

	MAXIMALE	Hmax	m	1988,67	1596,13	1723,83	1446,5	1984,335	
	5%	H5%	m	1875	1520	1710	1440,0	1890	
	95%	H95%	m	1050	900	1075	790,0	1180	

4 Méthodologie globale

Parmi les grandes orientations méthodologiques de ce travail nous citons celles ayant pour objectifs la recherche des données et des sources d'informations nécessaires à la réalisation de ce mémoire. Elles visent, plus particulièrement, la collecte des informations sur le terrain étudié, les méthodologies de traitement et les outils utilisés.

Quant aux méthodologies spécifiques adoptées dans ce travail, relatives aux problèmes soulevés dans ce mémoire, elles seront développées dans les chapitres correspondants. Ainsi, beaucoup de sources d'informations ont été mises en contribution afin d'obtenir l'essentiel des connaissances sur le bassin versant du Barrage de Ighil Emda et ses principaux affluents. Ce type d'informations offre une bonne base de travail dans la mesure où elle permet d'effectuer des traitements thématiques adaptés à l'analyse géomorphologique.

Les différentes sources d'informations utilisées peuvent être regroupées en deux catégories :

1- les sources documentaires, historiques ou actuelles, sous formes cartographiques, photographiques, numériques ou manuscrites. Dans ce cadre, plusieurs types de documents et analyses relatives au secteur étudié sont consultés, il s'agit essentiellement de documents cartographiques (cartes topographiques à différentes échelles, cartes géologiques, photographies aériennes, images satellitaires...) acquis auprès de l'INCT.

Les données en rapport avec le barrage d'ighil Emda sont obtenues auprès de la SONELGAZ qui est chargée de la gestion et l'exploitation du barrage.

Les enquêtes socioéconomiques menées sur la région ont été réalisées auprès des collectivités locales (APC, DPAT, service des forêts..). Ce sont des enquêtes qui peuvent nous permettre d'obtenir tous les renseignements sur le système d'exploitation des terres, les principales activités et autres informations à caractère historique de la région.

En plus, les inventaires forestiers et pédologiques élaborés par la direction des forêts, et dont certaines informations remontent à l'époque coloniale, nous ont permis de reconstituer l'occupation des sols et son évolution au cours du siècle dernier. Ces inventaires ont permis aussi de déterminer les caractéristiques actuelles de l'occupation du sol et de les comparer avec celles des sources anciennes.

Notons aussi qu'en complément des données collectées à l'échelle des bassins versants, d'autres documents sont consultés afin d'obtenir des informations sur les cours d'eau, surtout en ce qui

concerne les différentes campagnes de mesures bathymétriques, les profils en long et en travers des oueds tels que l'oued Attaba, O. Sidi M'barek, O. El Bared.

2- les données de terrain, issues directement de diagnostics ou de sorties sur terrain. Ce sont des informations obtenues directement du terrain, surtout en ce qui concerne l'élaboration de la carte géomorphologique détaillée de la zone étudiée à l'échelle 1/50.000ème. C'est une carte levée et réalisée sur la base de la notice explicative française RCP. 77, modifiée partiellement pour les cas spécifiques de la région. Une cartographie associée à plusieurs illustrations photographiques prises sur le terrain. Ceci en plus d'une description exhaustive de certaines sections d'oueds, jugées importantes, sur la base d'images satellitaires à haute résolution.

En conclusion, il sera question dans ce travail, la présentation d'un inventaire de l'ensemble des travaux et des références bibliographiques réalisés sur le secteur étudié et d'établir un bilan des méthodologies et des approches suivies pour l'élaboration de ce mémoire de Magister.

CHAPITRE PREMIER :
ETUDE DU MILIEU PHYSIQUE

Introduction

Ce premier chapitre constitue l'élément de base de l'étude, il s'agit d'une présentation exhaustive des principales composantes du relief et l'organisation structurale de chacune d'elles, les caractères géologiques, morphométriques, biogéographiques, surtout climatiques et le contexte socioéconomique de l'ensemble du secteur étudié. Ceci sans oublier d'appréhender aussi l'imbrication de l'ensemble des données et surtout l'interaction des facteurs régissant ce milieu, y compris ceux du contexte socio-économique.

1 ANALYSE TOPOGRAPHIQUE

Introduction

L'analyse de la topographie du bassin versant du Barrage de Ighil Emda a pour but de décrire l'ensemble des éléments formant le relief du secteur étudié. Elle consiste aussi à extraire de la carte topographique le maximum d'informations utiles à l'analyse géomorphologique de cette zone. L'approche suivie dans cette analyse vise, en plus de la maîtrise de la lecture de la carte topographique, l'utilisation d'un vocabulaire à la fois simple et précis afin de sélectionner la terminologie la plus appropriée pour le thème étudié.

Nous allons essayer d'examiner aussi l'essentiel des aspects relatifs au cadre topographique du bassin versant du Barrage de Ighil Emda, de présenter et définir les grands traits et les principaux éléments topographiques formant l'ossature de la zone d'étude.

Pour atteindre ces objectifs, nous nous sommes basés, dans cette analyse, sur les cartes topographiques établies par l'INCT, il s'agit de cartes établies, selon le nouveau découpage, à l'échelle 1/50.000ème. Ce sont quatre cartes topographiques qui couvrent le bassin versant étudié, il s'agit de :

- Feuille de Bejaia
 - 1- NJ-31-VI-3 Est
 - 2- NJ-31-VI-3 Ouest
- Feuille de Bouгаа
 - 1- NJ-31-VI-5 Est
 - 3- NJ-31-VI-5 Ouest

Toutes les cartes ont été numérisées et les courbes de niveau couvrant la zone d'étude ont été vectorisées, un travail, grâce auquel nous avons pu établir un Modèle Numérique de Terrain (Fig .3) et une vue tridimensionnelle 3D (Fig n°4). Ce sont des documents qui nous ont permis de faire une bonne analyse de la topographie du secteur étudié ainsi des les calculs morphométriques.

Notons aussi que l'application des nouvelles techniques informatiques appliquées à la géographie (SIG), et grâce à leurs maniabilités, nous ont permis, dans le cadre de cette étude, d'acquérir une meilleure représentation des phénomènes géographiques, topographiques et géomorphologiques.

Il faut souligner également qu'en exploitant la carte topographique du secteur d'étude (Fig 4), le Modèle Numérique de Terrain (Fig.2) et les profils topographiques, nous avons pu identifier les principaux éléments de la topographie du secteur étudié, il s'agit du domaine montagneux, le domaine des reliefs de liaison, le domaine des vallées intramontagnardes

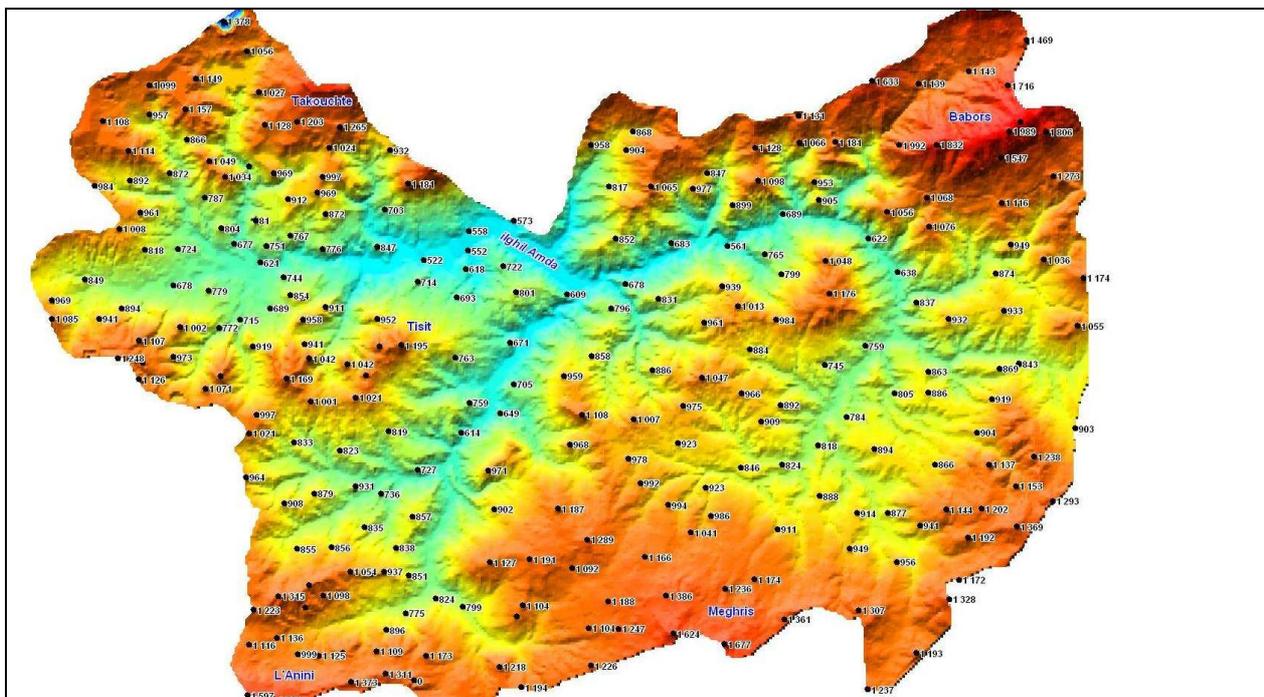


Fig. 3 : Grille d'Altitude (MNT) dérivée de cartes topographiques digitalisées

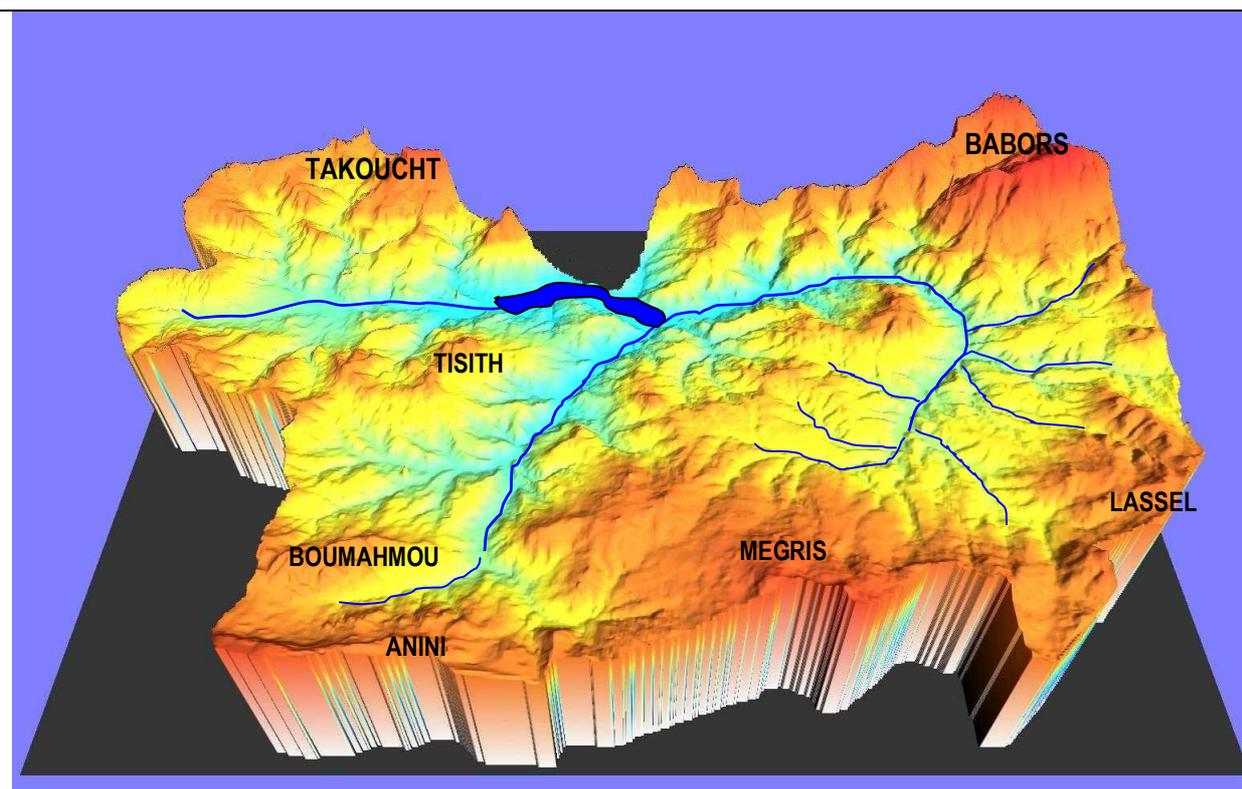


Fig. 4: Vue Tridimensionnelle des reliefs du bassin versant d'Ighil Emda

Notons d'abord que le secteur étudié appartient dans sa totalité au domaine des Babors à la limite orientale de la chaîne kabyle, c'est un domaine très accidenté où les reliefs culminent à plus de 1900 m d'altitude.

C'est un domaine très accidenté, bien que les altitudes absolues soient moyennes à faibles localement. Le caractère accidenté de ce domaine relève beaucoup plus des dénivellations que des altitudes absolues, c'est un domaine qui concerne l'ensemble des reliefs localisés au sud et au nord.

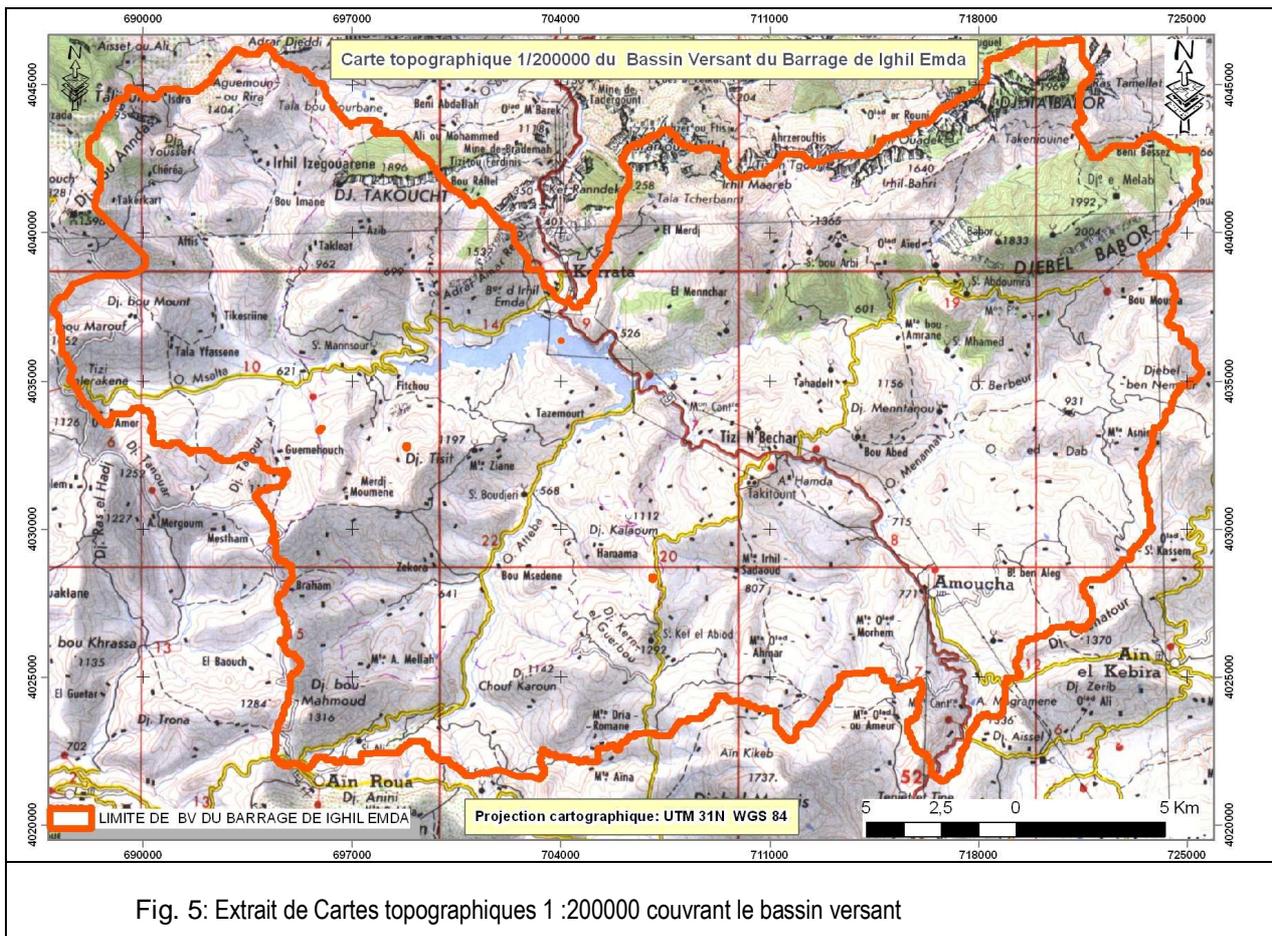


Fig. 5: Extrait de Cartes topographiques 1 :200000 couvrant le bassin versant

1.1 Les ensembles topographiques

a- Le domaine montagneux

Appartenant à l'atlas tellien, les reliefs montagneux constituent les principaux éléments topographiques de la zone d'étude. Ce sont des reliefs qui forment une ceinture développée autour du bassin versant du Barrage de Ighil Emda. Les altitudes dans ce domaine peuvent atteindre des valeurs allant de 1000 à 1800 mètres et culminant à 1992m d'altitude dans le Djebel Babor au NE du secteur étudié.

Le caractère accidenté de ce domaine se traduit, généralement, par les fortes dénivellations entre les bas fonds d'oueds et le haut des reliefs de ce secteur et par l'importance des pentes, car la plupart des versants ont des valeurs supérieures à 25%.

Les altitudes absolues au sud de ce domaine varient de 800m à 1500m autour de Dj. Meghris qui constitue la limite nord du haut plateau sétifien où l'altitude culmine à 1677m

A l'ouest du barrage, le relief montagneux est généralement moins élevé où l'altitude varie de 600 à 1000m, mais elle peut atteindre localement des valeurs supérieures, ex de Dj. Takouchte qui culmine à 1315m d'altitude à la limite SW du secteur étudié.

b- Les vallées

Les vallées sont les secondes unités topographiques qui caractérisent le bassin versant du barrage de Ighil Emda, ces unités sont très bien distinguées sur le Modèle Numérique de Terrain, quant au fond de vallée il change d'amont en aval, il est en V dans la partie supérieure, en berceau dans la partie médiane car le cour d'eau s'élargit un peu plus et il devient alluviale, assez large dans la partie inférieure parcourue par un cours d'eau divaguant. Dans le détail, une même vallée peut réunir plusieurs types de versant qui la domine et selon la nature géologique dans lequel le versant est façonné. On dénote (Le versant rectiligne, Le versant concave, Le versant convexe, Le versant convexo-concave, Le versant convexe-rectiligne-concave et Le versant à corniche), des formes topographiques élémentaires sont observées sur les versants des vallées, il s'agit de **vallons** qui se présentent sous forme de petites vallées affluentes dont la longueur varient de quelques centaines de mètre à quelques kilomètres. Trois principales et grandes vallées existantes à l'échelle du bassin versant, elles sont drainées par trois principaux oueds affluents de Oued Agrioun, il s'agit de :

- La Vallée de l'Oued El Berd

Cette vallée est orientée SSW-NNE, elle change de direction pour devenir Est-Ouest en marquant une courbure, très large à l'amont et très encaissée à l'aval à l'bouchure ou l'oued jette dans le barrage de Ighil Amda. Du piémont jusqu'au lit de l'oued, de part et d'autre, le passage s'effectue par des petits plateaux morcelés et des petites collines. Cette topographie élémentaire est imperceptible à l'échelle d'une carte 1:50000 et même 1:25000 mais en parcourant le terrain ces éléments topographiques (collines et plateaux) sont remarquables.

- La Vallée d'Oued Atteba

Drainé par l'oued Attaba, cette vallée prend pour origine les hauteurs de Djbel Lanini et orientée SSW-NNE. Au même titre que la vallée de Oued El Berd, elle est très large à l'amont et encaissée en aval à l'embouchure ou elle conflue avec la vallée de oued El Berd dans la zone appelé Merouaha (Eventail), contrairement à la vallée de oued El Berd le passage du piémont au lit de l'oued s'effectue selon des pentes raides et la topographie élémentaire (collines, plateaux) est très ponctuelle, discontinue et disparate spatialement.

- La Vallée de l'Oued M'barek

Orientée Ouest-Est et drainée par l'oued M'barek, cette vallée est constituée de deux versants l'un Exposé au Nord et l'autre au sud, le versant sud est plus complexe à cause de la chaîne montagneuse de Takouchte dont les pentes sont les plus fortes du bassin versant, par contre le versant exposé au nord est moins complexe une différence peut avoir lieu au niveau du passage du piémont au lit de l'oued, en effet, le versant nord est légèrement moins accidenté par rapport au versant sud. Au même titre que les deux précédentes vallées, elle est large à l'amont et encaissée à l'aval ce qui donne une sorte de symétrie entre les trois vallées.

c- La dépression du barrage

La dépression du barrage d'Ighil Amda (la partie utile du barrage) est située au centre nord du bassin versant, dominée par les chaînes de montagne. Elle marque les attitudes les plus basses de tout le bassin versant avec des valeurs qui varient de 500 à 520 m, elle est transformée en barrage garde crue artificiel, elle est d'une forme allongée en tentacule de largeur plus au moins importante, en constituant la convergence des trois principaux Oueds qui drainent les trois principales vallées du bassin versant.

Notons enfin que cette dépression est dominée par des reliefs bas 450-600 jouant le rôle de relief de liaison

1.2 Le système des pentes

Le système de pentes est un paramètre qui définit le contraste de relief, autrement dit ; un relief est défini par sa pente. La pente est une caractéristique variable discontinue dans l'espace et inchangeable à l'échelle historique, c'est un paramètre essentiel dans toutes études d'aménagement ou de recherche en rapport avec le milieu physique c'est pourquoi une attention très particulière est portée sur l'étude des pentes, et il faut rappeler que l'étude morpho-métrique du bassin versant ce n'est autre que l'étude basée sur le système des pentes.

En combinaison avec d'autres éléments physiques et naturels à savoir, la géologie, l'hydrogéologie, la pédologie et le climat (les pluies en particulier), **les pentes conditionnent** :

- La stabilité des formes de reliefs vis-à-vis les agents d'érosion de toutes typologies.
- L'organisation, l'architecture et la hiérarchie du réseau hydrographique
- L'écoulement des eaux ruisselées
- Elles conditionnent ainsi les implantations humaines et les aménagements

En effet, la connaissance des valeurs de pentes est une pièce maîtresse dans notre étude géomorphologique.

Pour pouvoir traduire cartographiquement le relief en pente, nous avons dressé une carte des pentes sur l'échelle du bassin versant, elle a été élaborée à base de données altimétriques issues de la carte topographique. La technologie informatique moderne et les puissances des programmes informatiques nous ont permis d'affiner l'analyse.

Les valeurs de pentes sont exprimées en pourcentage, sept classes de pente ont été définies et représentées graphiquement par des plages de couleur (fig.6) en effectuant une analyse thématique.

Etude statistique des pentes :

Tab. 2 : Répartition des superficies par degré de pente

Classes de Pente en %	Superficie en Km2	Pourcentage
0 à 10	89,31	14,22
10 < P <= 20	198,15	31,57
20 < P <= 35	221,05	35,22
35 < P <= 45	65,38	10,41
45 < P <= 60	39,22	6,24
60 < P <= 75	11,28	1,79
> 75	3,23	0,51

De l'analyse statistique des pentes (fig.7), nous concluons que :

- 45,79 % des reliefs du bassin versant ont une pente inférieure à 20 %
- 54,21 54, % des reliefs du bassin versant ont une pente supérieure à 20 %

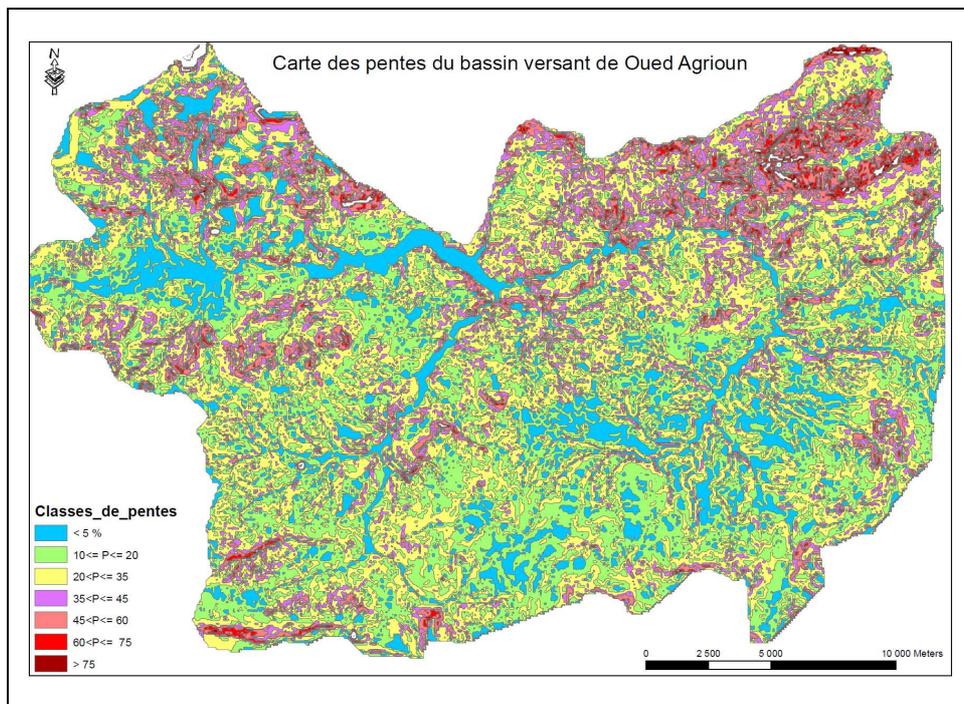


Fig. 6: Carte des pentes du bassin versant du Barrage de Ighil Emda

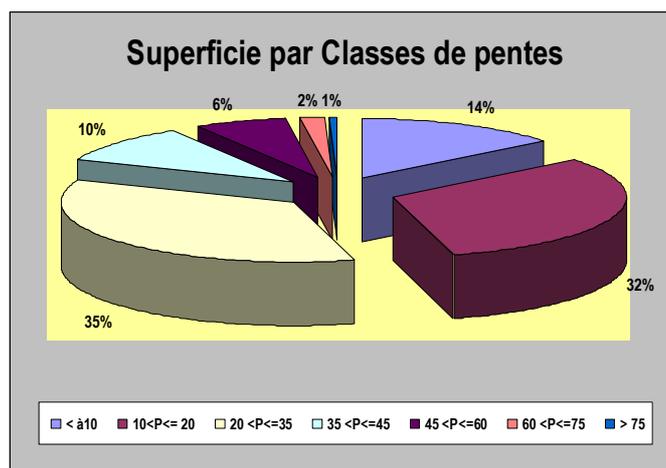


Fig. 7 : Classes de pentes par superficie

Pour mieux caractériser les pentes de bassin versant du barrage de Ighil Emda nous l'avons décrit quantitativement par l'emploi d'une série de formule dites morpho métrique, les valeurs obtenues ont été récapitulées dans le Tab. 3 suivant :

Tab. 3 : caractéristiques des pentes du bassin versant et ses sous bassins versants élémentaires

BASSINS VERSANT				O.ELBARED	O.ETTABA	O ;MBAREK	O.TAKEBO USTE	IGHIL EMDA	
PENTE MOYENNE		Pmoy	m/Km, %.	287	252	320	335,0	298	
PENTE BRUTE		i	m/Km, %.	4,9	6,1	8,2	12,4	4,6	
INDICE DE PENTE		Ip	%	0,08	0,16	0,17	0,2	0,06	
DENIVELLE SPECIFIQUE		Ds		138,27	144,15	153,09	249,3		Relief assez fort

2 GEOLOGIE DE LA REGION D'ETUDE

Plusieurs études géologiques à l'échelle régionale et locale ont été menées dans la région des Babors et environs. nous citons entre autre, parmi ceux qui ont étudié les différents aspects géologiques (géologie structurale, stratigraphie et pétrographie), L. GLANGEAUD (1933- 1934), Durant Delga (1956-1962), Kieken (1962), Leikine (1965- 1971), M. D. OBERT (1981), M. J GLAÇON (1963- 1967), M. R. ROTHE et M.DALLONI 1949, et les travaux de SONAREM en 1968 portés sur l'actualisation des cartes géologiques au 1 : 50 000 de la région.

La carte géologique est le document de base exploité pour la reconnaissance des faciès existant ainsi pour comprendre l'ordre stratigraphique et les structures géologiques de la région. Des coupes géologiques et des schémas structuraux sont portés dans les mêmes cartes, nous les avons repris tel qu'ils sont dressés.

Deux cartes géologiques à l'échelle 1 : 50 000 de kherrata et d'Ain Roua ont été exploitées dans cette étude, ces cartes sont produites et actualisées par le service de l'exploration de SONATRACH attaché au ministère de l'industrie et de l'énergie de l'Algérie (Fig.9).

Les deux cartes portent des indications sur les auteurs et les organismes qui ont contribué et effectué les explorations, il s'agit de :

- 1- de 1963 à 1975. par .M.Leikine chargé de recherche au CNRS ;
- 2- de 1967 à 1975 par .D.Obert, Maître assistant au département de Géologie structurale à l'université Pierre et Marie Curie à Paris ;
- 3- en 1971, pour la SONATRACH dans le cadre du permis « Sétif » par M. R.Gonnard , Ingénieur géologue, et M. N. Kazitani ingénieur géologue à SONATRACH, Chef de mission. M. A. Reymond, ingénieur géologue ;
- 4- de 1952 à 1963 par M. J. Glaçon, professeur au laboratoire de géologie appliquée de l'université de Pierre et Marie Curie à Paris, collaborateur de services de cartes géologiques de l'Algérie.
- 5- de 1973 à 1975, par M-J. Vila, Maître assistant au Département de géologie structurale de l'université de Pierre et Marie Curie à Paris.

Tous ces travaux sont exploités dans les commentaires associés à l'extrait de la carte géologique de kherrata dont les limites de la zone d'étude (le bassin versant) y sont presque intégralement contenues.

L'extrait de la carte géologique est accompagné d'une légende, d'un schéma structural simplifié et une coupe géologique orientée NNW-SSE et qui traverse le bassin versant du Barrage de Ighil Emda(Fig 10).

La lecture de la carte fait savoir que la région de kherrata (Bv.du barrage de Ighil Emda) est située dans la partie centrale du domaine tellien externe, elle appartient à la zone nord sétifienne définie par J.Glaçon (1967) et correspond à un ensemble de terrains déplacés et des unités chevauchées, constituées par des sédiments Triasiques, Jurasiques et Tertiaires.

L'ensemble structural auquel appartient notre zone d'étude est l'ensemble sétifien qui est représenté dans sa grande partie par des sédiments marno-calcaires du crétacé supérieur appartenant à la nappe de Djemila. La structure géologique globale de ce domaine est marquée par de nombreux anticlinaux et synclinaux répartis dans l'ensemble du territoire de cette nappe qui est recoupée par des Klippes et fenêtres de Djbel Helel, Djbel Meghris, Djbel Chenator, Djbel Lassel et Mdjounes.

2.1 La stratigraphie

La stratigraphie du domaine Nord sétifien, (Zone d'étude), présente des terrains sédimentaires allant du secondaire au quaternaire, les séries stratigraphiques sont caractérisées par l'abondance et la croissance des niveaux argilo-marneux qui ont favorisé les épisodes de décollement dans la région (Vila, 1981).

2.1.1 Le secondaire :

2.1.1.1 Le Trias

Les affleurements Triasiques sont largement répandus dans le domaine nord sétifien notamment dans sa partie orientale, le Trias comprend essentiellement des argiles et du gypse avec des blocs calcaires et dolomitiques métriques. Il constitue un complexe chaotique où aucune structure n'est clairement définie. Il paraît sous forme de corps plus au moins lenticulaires et effilés qui jalonnent souvent les contacts anormaux entre les différentes nappes.

Ses corps triasiques, discontinus, offrent parfois de grands affleurements en certaines régions permettant de nombreuses exploitations de gypses dans ces localités. (Exp Région de Idjouracen, sud de Djebel Babors).

2.1.1.2 Le Jurassique

Son importance est très réduite dans la région, il est présent sous deux formes :

- en petit lambeaux dans l'ouest de la zone ou dans les écailles de Beni Ourthelane
- en lames extrusives parfois complètement renversées et qui constitue la limite méridionale du domaine nord sétifien.

Dans le premier cas le jurassique constitue la base de l'unité de Beni Ourthélen avec des couches constituées essentiellement de faciès carbonatés ; calcaire massif parfois à silex et des dolomies brunes à noirs qui constituent l'essentiel du jurassique des nappes de Barbacha, Beni Abdellah et Djemila à l'Ouest (voir carte fig.11).

A l'Est, dans la région de kherrata, le jurassique affleure dans la partie septentrionale sous forme de grandes barres extrusives. Ce sont les calcaires dolomitiques de Djebel Babors et d'Adhrar Amellal qui constitue les grands reliefs montagneux de cette région.

2.1.1.3 Le Crétacé

Les formations du crétacé sont très répandues dans le territoire étudié, elles sont réparties dans les différents ensembles allochtones qui forment cette région et constituent la majorité des affleurements rencontrés notamment ceux rattachés à sa partie sommitale (crétacé supérieur).

a- le Crétacé inférieur

Les formations rattachées à cette période sont presque absentes dans le secteur, leur existence se limite à quelques endroits seulement et avec une extension réduite. Il s'agit de calcaire marneux schisteux à ammonites pyriteuses et de pélites grises schisteuses du Barremo- Aptien qui affleure au nord au voisinage de Djebel Babors.

Au sud Ouest dans la région d'Ain Roua, le crétacé inférieur est sous forme de pélites grises ou noires schisteuses de l'Aptien dans la fenêtre de Djebel Helel.

L'Albien est représenté par des calcaires gris à Orbitolines en gros bancs avec intercalations marneuses et calcaro-marneuses à Orbitolines.

b- le Crétacé supérieur

Le crétacé supérieur est abondant dans la partie nord sétifienne et constitue l'essentiel des formations sédimentaires dans les nappes telliennes notamment la nappe de Djemila où le Campanien à marnes noires avec de rares bancs de calcaires marneux noirs est surmontés par des calcaires lenticulaires du Maestrichtien, ces dernières deviennent plus épaisses au sud (Djebel Lassel et Medjounes).

2.1.2 Le Tertiaire

Dans la région d'études le Tertiaire est exprimé par des terrains de l'Éocène moyen et supérieur qui affleure à la base de la nappe numidienne qui est représenté par le Djebel Meghris (unité de Vla de J. Glaçon). A la base des formations plus au moins tabulaires de Meghalaya, apparaissent des faciès plus au moins réduits du Sénonien, constitué d'Argiles et de marnes claires, repérés par J. Glaçon (1967) près de Oued Mgareb (NE de Ain Roua).

2.1.3 Le Quaternaire

Les sédiments du quaternaire occupent des surfaces considérable du bassin versant étudié (Carte géologique), les affleurements du quaternaires sont facilement identifiés et sont constitués de plusieurs types de sédiments, on distingue :

- les alluvions actuelles en forme de lambeaux souvent discontinues au fond des Oueds les plus importants.
- Les dépôts de versants et alluvions anciennes indéterminées.
- Eboulis à gangues marneuses, en masse et éboulis anciens du versant nord de Djebel Megris, Djebel Amar Rehdou, Djebel Chouf Karoun et Djebel Babor

EXTRAIT DE CARTE GEOLOGIQUE 1:50000 DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE DE IGHIL EMDA

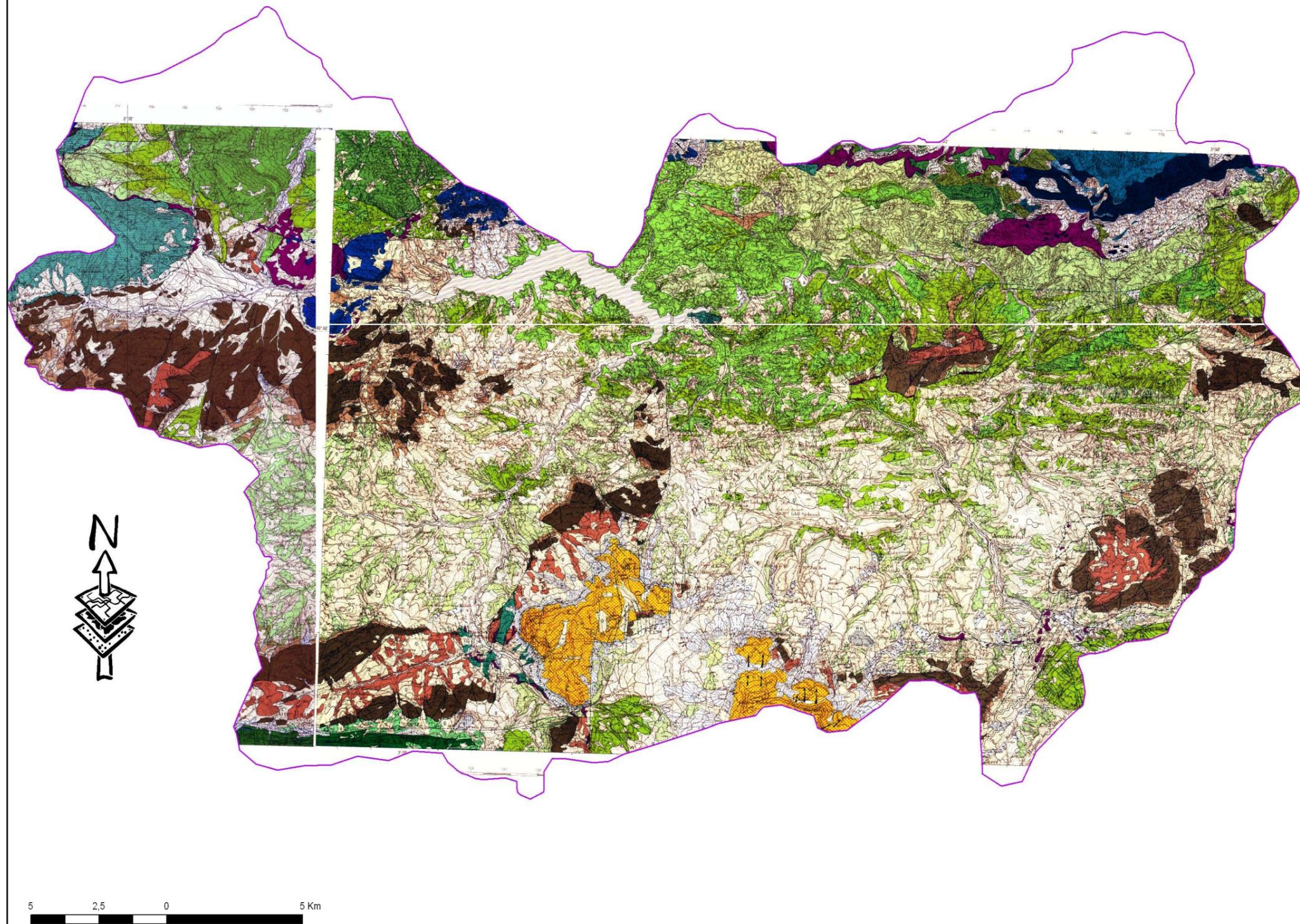
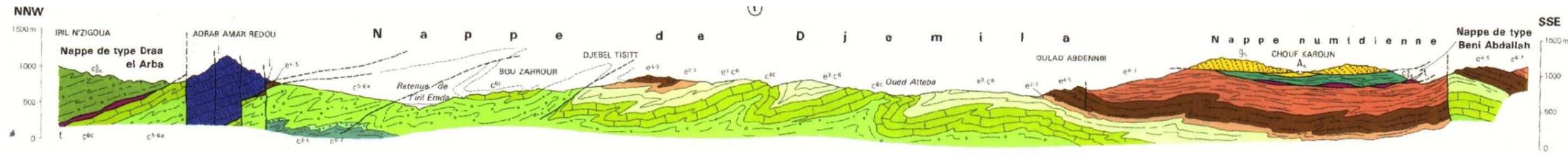


Figure 8 : Extrait de la carte géologique. Feuilles de kherrata et Ain Roua



TERRAINS SÉDIMENTAIRES

QUATERNAIRE

- A** Alluvions actuelles et récentes.
- Q** Terres arables, formations de pente, alluvions anciennes et Quaternaire indéterminé.
- Eboulis**
 - 1 - à blocs.
 - 2 - à gangue marneuse.
 - 3 - en massé, avec indication de la niche d'arrachement.
 - 4 - éboulis anciens du versant nord du Dj. Megriss.
- T** Tufs calcaires hydrothermaux.

MIO-PLIOCÈNE

- mp** Mio-Pliocène continental : argiles sableuses rouges ou orangées, cailloutis.

FLYSCHS KABYLES

Nappe Numidienne

- g** Flysch numidien : argiles et bancs de grès (a).
- A_n** Argiles de base à *Tubotamaculum*.

FORMATIONS TELLIENNES

Nappe ultra-tellienne

- g₁** Oligocène inférieur mameux gris.
- e¹⁻²** Lutétien supérieur et Priabonien : marnes noires un peu gréseuses.
- c⁵⁻⁶ UT** Sénomien supérieur, marnes et micrites claires à *Globotruncana*.

Nappe de type Draa el Arba-Erraguène (Unité B2 d'A. Caire, unités du groupe C de M. Leikine, Unité II de J. Glaçon).

- c²⁻⁴** Campanien : marnes jaunes ou grises à bancs de calcaires noirs ou gris et à boules jaunes abondantes.

Nappe de type Béni Abdallah (Unité B1 d'A. Caire, groupe G. de M. Leikine et unité IV de J. Glaçon).

- c²⁻⁴** Campanien supérieur : mameux du Chouf Karoun.

Unité supérieure à matériel éocène.

- e⁶⁻⁷** Lutétien et Priabonien : marnes sombres.
- e¹⁻⁵** Yprésien et Lutétien inférieur : calcaires mameux schistosés à patine blanche, cassure noire et silex noirs ; faciès à Globigérines.
- e²⁻³** Paléocène schistosé, alternances de marnes noires et de calcaires mameux en petits bancs.
- e³ c¹** Maestrichtien supérieur à Paléocène : marnes noires schisteuses à boules jaunes rares.
- c¹** Maestrichtien : marnes noires.
- c¹⁻⁶** Sénomien supérieur mameux de la klippe du Djebel Chentour.

Nappe de Djemila (Autochtone de J. Glaçon, Unité Béni-Ourlilene - Djebel Babor de M. Leikine et D. Obert).

- e⁶⁻⁷** Eocène moyen et supérieur : marnes noires, brunes ou grises à bancs et boules jaunes.
- e¹⁻⁵** Yprésien-Lutétien inférieur : calcaires massifs bitumineux blancs à cassure noire et silex noirs ; faciès à Globigérines et à débris.
- e³ c⁶** Maestrichtien à Paléocène : marnes noires indifférenciées, parfois à boules jaunes des deux tiers orientaux de la feuille.
- e²⁻³** Paléocène : marnes noires ou brunes et alternances de marnes grises et de marno-calcaires en petits bancs.
- e¹** Danien : marnes noires et petits bancs de calcaires gris mameux à patine orangée.
- c⁶** Maestrichtien mameux noir.
- c^{6c}** Campanien supérieur et Maestrichtien calcaire lenticulaires et micritiques au N. devenant plus épais, bien réglés et riches en débris coquilliers au Djebel Medjounes.
- c^{5-6a}** Campanien supérieur et Maestrichtien inférieur mameux sombres à boules jaunes abondantes.

Nappe de Djemila (suite)

- c⁴⁻⁵** Santonien supérieur à Campanien : marno-calcaires bien réglés à débris d'huîtres près du Dj. Anini.
- c³⁻⁴** Coniacien-Santonien : marnes grises alternant avec des marno-calcaires gris au N du Djebel Anini.
- c¹⁻²** Cénomaniens à Orbitolines et Turonien du Djebel Babor.
- n⁶⁻⁷** Albien supérieur et Vraconien mameux et marno-calcaires.
- n³⁻⁶** Barrémo-Aptien et Albien : pérites grises schisteuses.
- n¹⁻³** Néocomien-Barrémien : calcaires mameux schisteux à Ammonites pyrénées.
- js** Jurassique moyen et supérieur : calcaires et microbrèches siliceux.
- ls** Lias moyen et supérieur : calcaires à silex et calcaires massifs.
- l** Dolomies et calcaires dolomitiques du Djebel Babor et de l'Adrar Ou Mellal, Lias indifférencié de l'Adrar Redou.

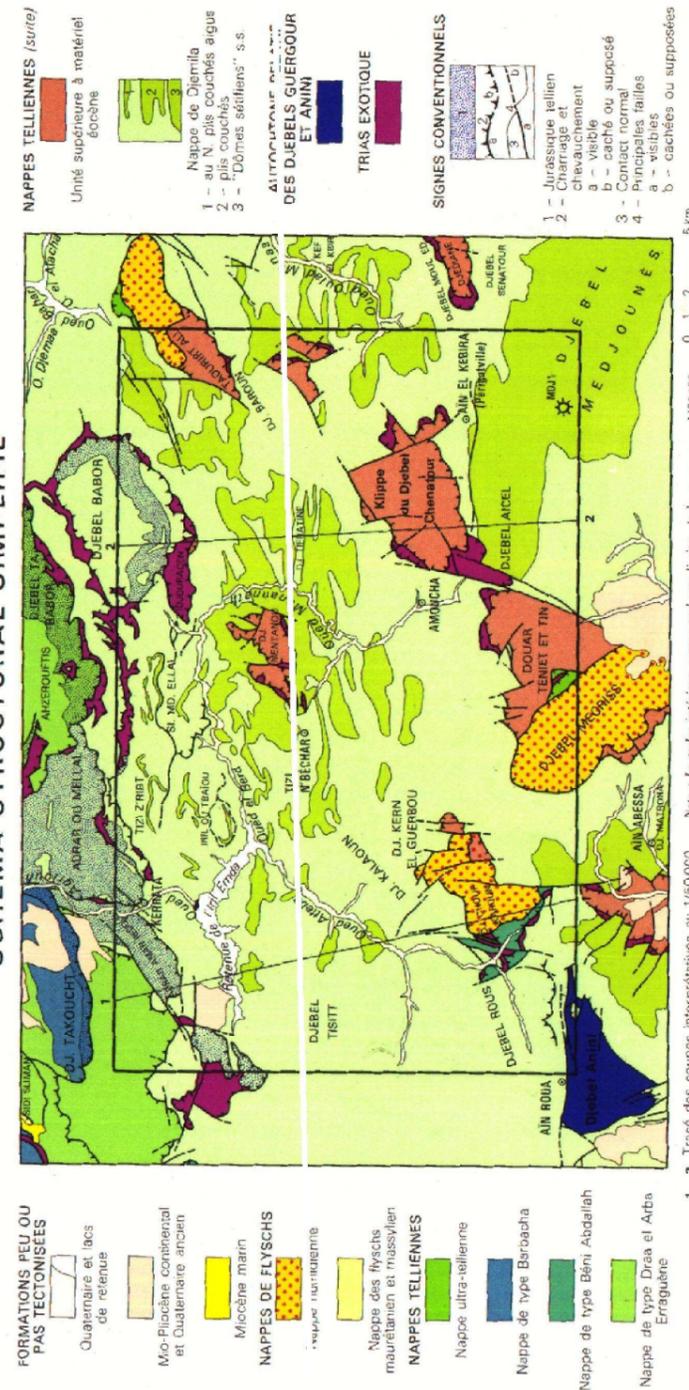
SÉRIE NÉRITIQUE DU DJEBEL ANINI : AUTOCHTONE RELATIF

- c³⁻⁶** Sénomien inférieur transgressif : Conglomérats à galets de Cénomano-turonien et ciment à *Globotruncana*.
- c¹⁻²** Cénomaniens à Turonien : dolomies, calcaires sparitiques, zoogènes ou micritiques à *Cisalvécolines*.

TRIAS EXOTIQUE

- l** Argiles varicolores, gypses broyés, cargneules et glaçons calcaire-dolomitiques ou dolomitiques (dt).

SCHEMA STRUCTURAL SIMPLIFIE



Légende 03

Légende 02

Légende 01

Figure 9: Légende, schéma structural simplifié et coupe géologique

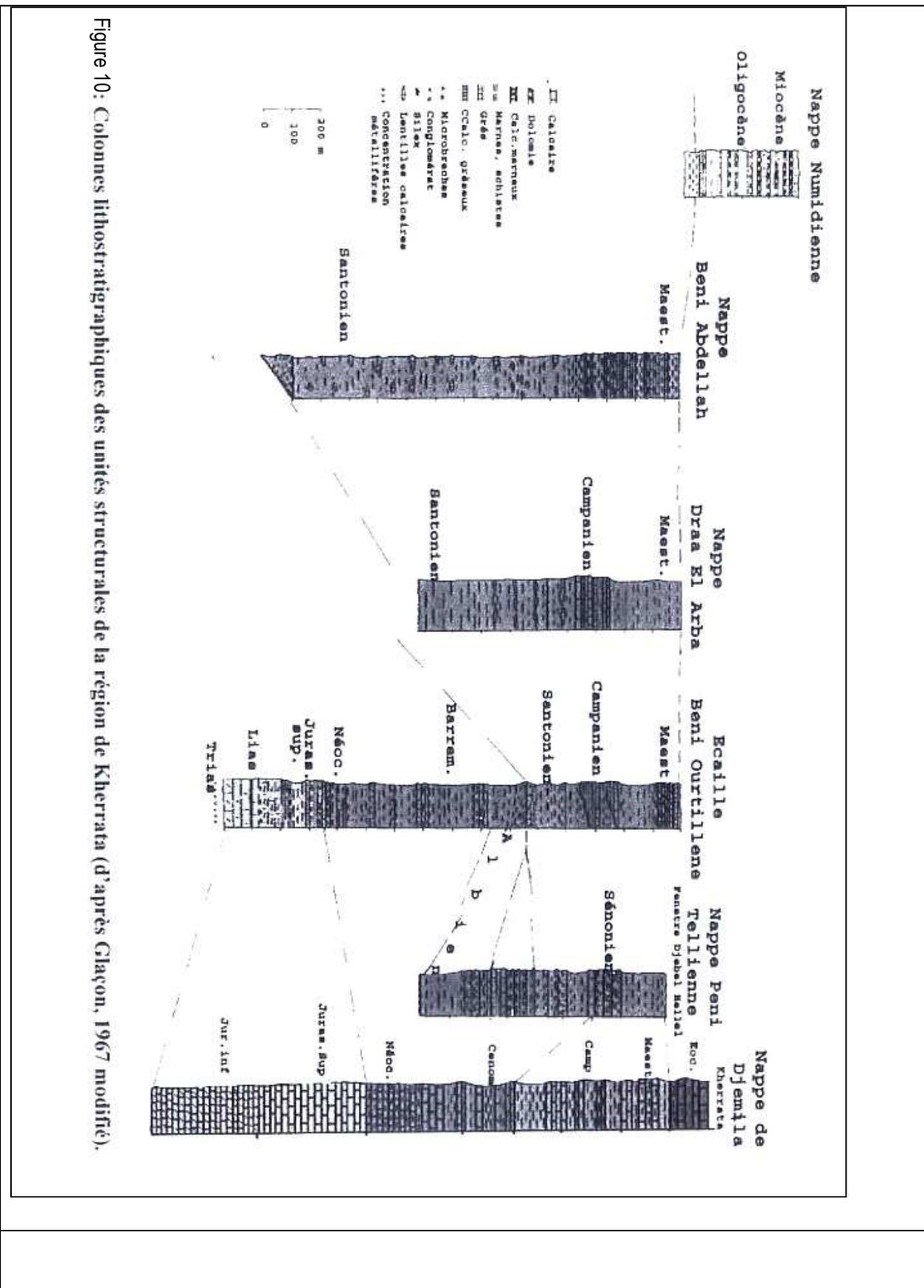


Figure 10: Colonnes lithostratigraphiques des unités structurales de la région de Kherrata (d'après Glaçon, 1967 modifié).

2.2 La Tectonique

La région d'étude se trouve dans un axe miogeosynclinal Tellien connu comme étant le théâtre de grands événements tectoniques durant l'orogénèse Alpine.

Les structures cassantes et plissées enregistrées par des différentes formations se sont formées au cours de l'orogénèse alpine, et les mouvements tectoniques, qui ont eu lieu à la limite du pliocène et quaternaire et auraient donné un aspect structural définitif à la région en plusieurs anticlinaux et synclinaux.

Les structures anticlinales et synclinales qu'on peut distinguer sont énumérées comme suit (Fig 11) :

a- Anticlinal de Djebel Anini au (SW) :

Localisé au Sud Ouest de Kherrata, il constitue le prolongement méridional de la grande structure anticlinale Guergour-Anini. Le noyau anticlinal est composé des calcaires massifs du céno-manien turonien à pendage du 10° à 25°. L'axe de pli est de direction sublatitudinale et plonge vers l'est au nord la structure est limitée par une grande faille à grand rejet et avec des pendages assez fort.

b- Anticlinal du Djebel Mentanou : cet anticlinal est formé par deux structures différentes constituées par un substratum représenté par les faciès du crétacé supérieur et surmonté par une klippe à matériel éocène.

Il est de direction sublatitudinale la partie centrale du pli est formée par les marnes, calcaires marneux et calcaires du maestrichtien inférieur et les flancs montrent les dépôts argilo marneux du maestrichtien supérieur.

A l'ouest, le pli est recouvert par l'allochtone tellien, au nord par des grès quartzeux de la nappe numidienne et vers l'est il plonge sous les dépôts paléocènes.

c- Anticlinal de Douer Takitount ; il est situé au sud du djebel babor, il affleure au milieu de la nappe de Djemila sous forme d'un grand bombement complexe de direction sublatitudinale, la structure externe est traversée par de nombreuses failles et de nombreux plis mineurs anticlinaux et synclinaux de directions variées.

Cette structure est limitée au nord et au sud par des failles profondes confirmées par des données géophysiques (ORGM.2001).

d- Synclinal du Djebel Baroun : il s'étire en direction subméridienne entre des anticlinaux de douar takitount et de guebar el lhouli, et est formé par des dépôts marneux du maestrichtien supérieur, à l'ouest la cuvette synclinale de djebel Baroun est presque comblée par les dépôts des unités charriées de Draa el Arba et de et de l'allochtone tellien.

e- Anticlinal Medjounes ; situé à l'angle sud est de la région et il représente un grand édifice compliqué, l'anticlinal est entièrement composé de dépôts calcaire-marneux du maestrichtien, il est limité par des accidents tectoniques, sa structure est limitée par des accidents mineurs.

f- L'anticlinal du Djebel Lassel : c'est un pli dissymétrique au plan légèrement allongé en direction du SE dont le flanc sud est à pendage fort qui devient faible et subhorizontal dans le

flanc nord ; il est constitué essentiellement par le faciès calcaire-marneux du maestrichtien, ce faciès est représenté par des bancs de calcaires silicifiés de grande épaisseur (jusqu'à 1 m) intercalés par de rares niveaux argileux

- g- **Anticlinal du Djebel Zerib** : il est de direction sublatitudinale et constitué par un flanc sud dont les couches sont à pendage plus fort par rapport aux couches du flanc nord, à l'ouest cet anticlinal est séparé de celui du djebel lassel par un étroit pli synclinal mineur.

- h- **Anticlinal D'Amar Rhedou** : il est situé dans la zone des babors , au nord ouest du territoire étudié, et forme un parmi les nombreux anticlinaux que constituent cette unité allochtone des Babors et de l'adras Oumellal , il s'agit d'une structure anticlinale complexe dont l'allure générale est représentée par de grandes barres carbonatées à caractère extrusive du jurassique , à la limite sud –est l'anticlinal est limité par une faille chevauchante sur crétacé supérieur de l'allochtone de Djemila
Toute la structure est hachée par des accidents transversaux et longitudinaux qui délimitent plusieurs compartiments

- i- **Anticlinal du Djebel Babor** : il est de direction sublatitudinale et constituée par des dépôts du jurassique et du crétacé inférieur, son flanc sud est affecté par une grande faille sublatitudinale qui correspond à une zone de chevauchement avec les dépôts de la nappe de Djemila.

- j- **Synclinal d'Amouta** : il s'étire dans sa partie sud de la feuille en direction sublatitudinale sous forme d'un arc courbé vers le sud , il borde l'anticlinal de douar takitount vers le sud et le sépare du horst anticlinal du djebel anini, des anticlinaux des djebel matrounes et medjounes les dépôts calcaires marneux du maestrichtien supérieur et du paléocène composent la structure sédimentaire de cet anticlinal.

- k- **Synclinal de Oued Atteba** ; c'est une cuvette allongée en direction sublatitudinale dans la partie ouest de la nappe Djemila. Le Synclinal de Oued Atteba est limité à l'ouest par l'anticlinal de douar takitount ; il est composé essentiellement par des terrains calcaire –marneux du maestrichtien supérieur et du : paléocène, les calcaires et les marnes du maestrichtien inférieur affleurent grâce à des fenêtres tectoniques et sont caractérisés par de faibles pendages des couches du maestrichtien, il est limité par des accidents tectoniques, sa structure est limitée par des accidents mineurs.

2.3 L'Evolution Paléogéographique

Le faciès sédimentaires des Babors (zone d'étude) et de la région méridionale, témoignent de plusieurs changements latéraux et de plusieurs phases tectoniques qui l'ont affecté. Le jurassique est caractérisé par des déformations relativement discrètes et par des changements latéraux. Le passage du calcaire Oolithique à un calcaire siliceux témoigne du passage d'un faciès de plate forme à un faciès profond. Ce changement de faciès est lié essentiellement au fonctionnement d'un accident transverse sub méridional en oscillation latérale (Obert. 1981).

Ces dépôts alternent avec des faciès pélitiques et carbonatés à la fin du Jurassique. Le cachet pelito-calcaire annoncé des le Jurassique terminal se poursuit au Néocomien par une sédimentation pélitique mais toujours sous influence carbonatée.

Dans les Babors, les conglomérats se répètent en plusieurs niveaux marquant les instabilités et les variations eustatiques.

Au Barrémo-Albien, les pélites semblent légèrement carbonatées riches localement en décharges conglomératiques envahissent tous le domaine des Babors. La partie méridionale (nappe de Djemila) semble être épargnée ou légèrement affectée par ces décharges conglomératiques. Une polarité sédimentaire se dessine et elle est grossièrement NW-SE. Elle évolue d'un pôle NW à matériel grossiers vers un pôle SE où les produits sont très fins et moins abondants (Kireche. 1993).

A cette époque certains auteurs (Obert. 1981) évoquent le début de remobilisation et de resédimentation des matériels Triasiques qui apparaissent à l'ouest des Babors dès le Barémien.

A partir de l'Albien, un changement important intervient dans la sédimentation qui devient franchement marneuse ou marno-calcaire.

Le turonien et le Sénonien inférieur varient beaucoup en épaisseur et en faciès, cette variation d'épaisseur est du aux basculements et aux perturbations du bassin sédimentaire par effet tectonique ce qui explique l'irrégularité des séries à travers les différentes zones.

Dans la nappe de Djemila, les terrains post-Albiens allant du Cénomaniens à l'Eocène atteignent 1500 m d'épaisseur (sondage Djebel Medjounes) à l'Est et 100 m environ à l'ouest de l'unité (Vial, 1981).

Dans la partie centrale de l'unité de Djemila, le Campanien repose par discordance soit sur le Cénomaniens, soit sur le Crétacé inférieur, cette discordance anté Campanien est engendrée par les mouvements de basculement enregistrés à proximité de Djebel Babor.

Le Campano-Maestrichtien, très Epais (700 m de marnes noirs à boules jaunes) renferme des lentilles de calcaires, de plus en plus importantes et mieux réglées à l'Est (Djemila) et le Sud Est (Djebel Lassel et Djebel Medjounes).

Les interlits marneux sont à foraminifères benthiques. Vers le haut, les calcaires sont riches en Globotruncana.

Cette disposition indique un approfondissement du secteur oriental et sud oriental du à l'activité des failles bordières.

La remobilisation du matériel Triasique se poursuit durant tout le Crétacé supérieur, elle est associée à des blocs allant du jurassique au Crétacé supérieur basal et soulignent une activité halocinétique.

Les complexes Triasiques se localisent le plus souvent à la base du matériel Sémonien des nappes, ce qui leur a valu d'être considéré comme des semelles (Villa .1980, Obert 1981, Kireche 1993).

Quant à L'évolution structurale de la région de kherrata et des babors, elle a fait l'objet de plusieurs travaux de recherches dont l'essentiel a été résumé dans la thèse de D.Obert .1981 . Cette évolution a été marquée par une succession de phénomènes tectoniques survenus pendant le jurassique le crétacé et le miocène et qui ont contribué à l'édification définitive de la structure actuelle de la région.

- Pendant le jurassique, la région connaît un certain calme tectonique et les déformations sont discrètes, cette période est caractérisée par le passage rapide d'un faciès de plate-forme (calcaire oolitiques) à un faciès plus profond (calcaires siliceux pelitiques).

- Des la base du néocomien, le plissement survient et se poursuit pendant le barremo-aptien, plusieurs directions de plissements resultent de cette phase ; elles sont comprises entre E-W, WSW-ENE, NW-SE. C'est le résultat d'une compression globale nord sud. Le crétacé supérieur est caractérisé par une individualisation des unités telliennes au turono-sémonien qui subiront un charriage vers le sud et un empilement intense au paléogène.

En général, la structuration des ces ensembles, connaît deux étapes décisives : La phase lutétienne à priabonienne et la phase miocène.

- La première est caractérisée par des écaillages et des plis et illustre les serrages importants qui sont à l'origine du raccourcissement de la chaîne des Babors.

Dans la région de Sétif-kherrata (nappe de Djemila) la déformation de cette phase à plis dissymétriques, affecte le sénonien et l'éocène, elle est suivie d'une phase thermique provoquant un métamorphisme faible allant jusqu'à la zone chlorite. Ce métamorphisme engendre une accumulation de fluides, provoquant ainsi une augmentation progressive de la pression hydrostatique, ce fluide se localise dans les zones disponibles (fentes, discontinuités sédimentaires) une de ses discontinuités est crétacé inférieur pelito-gréseux et une autre crétacé supérieur marno –calcaire

La seconde est plus générale caractérisée par le recouvrement gravitaire et les remobilisations d'anciens charriages.

3 LES DONNEES PEDOLOGIQUES :

La pédologie du bassin versant de ighil Emda a fait l'objet d'une étude détaillée élaboré par le BNEF (BNEDER actuellement). Environ 52 profils pédologiques repartis de manière homogène à travers le bassin versant ont été étudiés. Après localisation, échantillonnage et analyse de laboratoire, une classification et qualification pédologiques ont été dressées.

La classification est faite dans cet ordre de définition :

- Définition de classes des sols ;
- Définition des groupes des sols (Sous classe) ;
- Définition des sous groupes des sols (Sous sous classes) ;

Ont été définis 3 principales classes pédologiques sur l'ensemble du bassin versant, chacune des classe est subdivisée en groupe et sous groupe il s'agit de :

- 1 **Classe des sols minéraux bruts ;**
- 2 **Classe des sols peu évolués ;**
- 3 **Classe des sols calci-magnésiques .**

3.1 Classe des sols minéraux bruts

Occupe une superficie de 7% du total du bassin versant. Elle Constitue les formations superficielles des reliefs de la zone étudié, le sol est décapé en donnant naissance à l'apparition de la roche mère dure (lithosols).

3.2 Classe des sols peu évolués

L'évolution de cette classe est faible, elle est sujette au décapage et à l'érosion. C'est une classe subdivisée en deux groupes de sol.

3.2.1 Groupe des sols peu évolués d'érosion

Il est essentiellement **REGOSOLIQUE** (sous groupe), ces sols occupent les hauts des pentes avec environ 16% de la superficie totale, formée en terrains pentues généralement (30%) et caractérisés par une faible profondeur. Leurs profils sont de type A/C. ce type de sol est sujette d'une activité érosive intense ce qui constitue l'une des principales contraintes. Les teneurs en matière organique ainsi le CEC sont très faibles, pauvre en minéraux, ils présentent une texture grossière.

3.2.2 Groupe des sols peu évolués d'apport colluvial

- **Sous groupe modale**

Occupe 9% de la superficie totale, situé à mi pente ou sur des replats plus ou moins brunifiés, ils sont constitués par un matériau d'apport provenant de l'érosion des hauts de pente. La texture est équilibrée, les sols sont moyennement riches en matière organique. Leurs profils très peu différenciés ils sont de type A/C. le CEC des sols est relativement faible. Riches en minéraux. Ce type de sol est relativement stable c'est-à-dire non renouvelés par des apports fréquents.

- **Sous groupe vertique**

Représente environ 1% de la superficie totale, à la différence du sous groupe modal, la matière organique de ce sous groupe est très présente et évoluée ainsi que le complexe d'altération (Formation d'argiles gonflantes).

Les sols sont de couleur foncée, due à l'incorporation de la matière organique par barrage mécanique des horizons ce qui provoque une homogénéisation quasi complète du profil. On note la présence de fentes de retrait verticales le long du profil et une structure à tendance polyédrique.

3.3 Classe des sols calci-magnésiques

La formation et l'évolution de ce type de sols est conditionnée par la nature et la composition des roches calcaires associés au facteur topographique. Cette classe de sol comprend deux groupes pédologiques, il s'agit de :

3.3.1 Groupe des rendzines

De profondeur faible, deux horizons A/C peuvent être distingués. La teneur en matière organique est relativement élevée, la structure est grumeleuse stable, la texture varie en fonction de la topographie. On souligne la présence de cailloux et de graviers dans les horizons, les sols sont marqués par une faible activité biologique, quant au pH est alcalin.

Les sous groupes du RENDZINE sont dégagés selon la position topographique, la nature de la roche mère et notamment la teneur en calcaire actif, on distingue :

- **Sous groupe des Rendzines pauvres en calcaire actif**

Constitue **21%** de la superficie totale et Appartenant à la famille des calcaires durs

- **Sous groupe des Rendzines riches en calcaire actif**

Constitue **19%** de la superficie totale et appartient à la famille des calcaires tendres et des schistes

3.3.2 Groupe des sols bruns calcaires

Les sols bruns calcaires sont riches en matrices fines (limons, argile), trois horizons pédologiques (ABC) peuvent être distingués, l'horizon B possède une structure à tendance polyédrique.

La teneur en CaCO₃ actif est plus abondante dans l'horizon B que dans l'horizon A. La teneur en matières organique est moyenne, elle est généralement bien incorporée en profondeur. L'activité biologique est moyenne avec un PH alcalin.

Les sous groupes des sols bruns calcaires ont été distingués sur la base de trois caractéristiques à savoir ; la teneur en argile, la topographie et la teneur en matière organique. Deux principaux sous groupes sont définis :

- **Sous groupe des sols bruns calcaires modaux**

Occupe **17 %** de la superficie totale. Localisés sur pentes moyennes et possédant une texture relativement équilibrée.

- **Sous groupe des sols bruns calcaires Vertiques**

Occupe environ **9%** de la superficie totale. Il est formé en bas des pentes et caractérisé par une texture fine qui provient de l'incorporation de la matière organique.

4 LE COUVERT VEGETAL

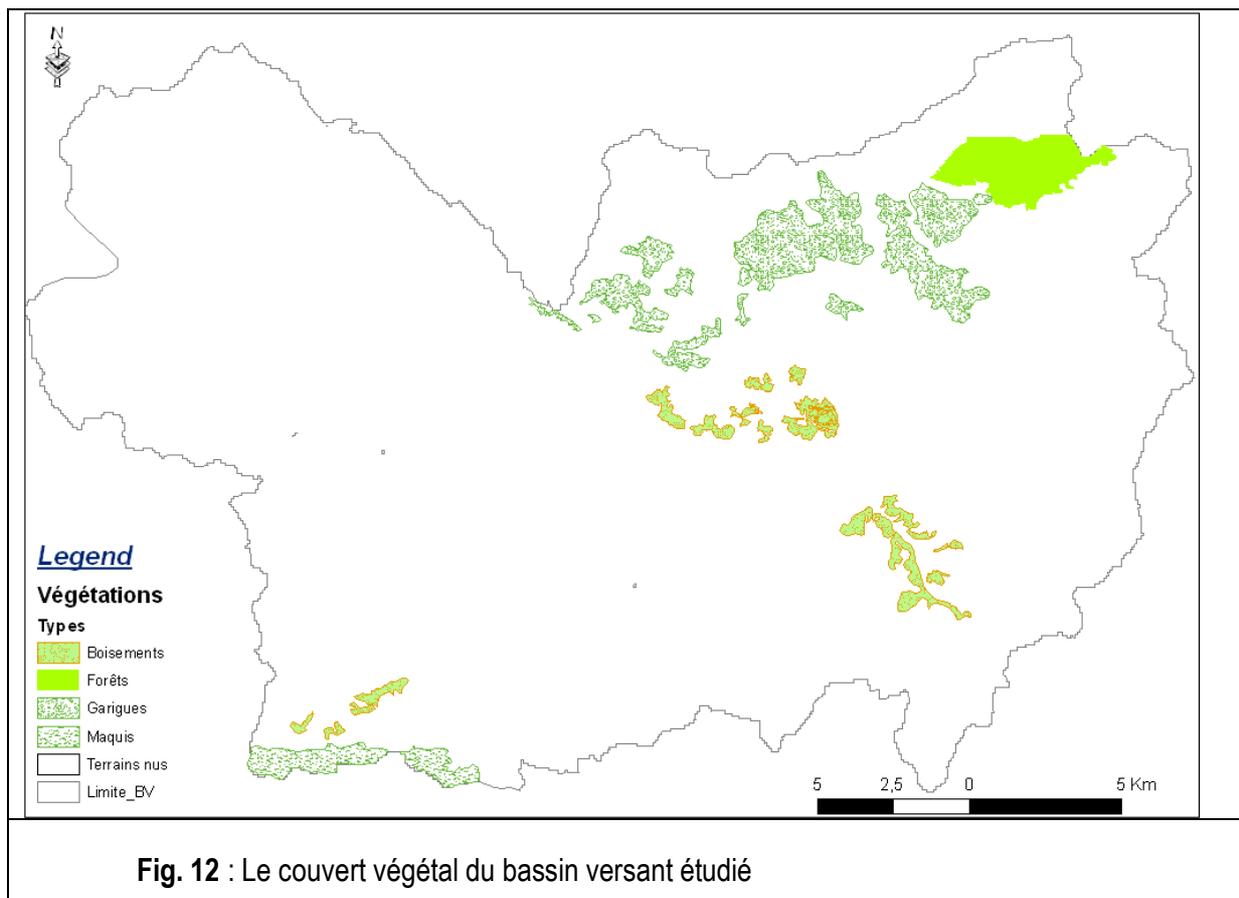


Fig. 12 : Le couvert végétal du bassin versant étudié

Mise à part quelques lambeaux de groupements végétaux représentés par la forêt des Babors, de densité moyenne à forte, et quelques garigues de chêne vert clairsemés fragmentés et limités dans quelques espaces et dans un état de dégradation très avancé, le couvert végétal dans le bassin versant est en dégradation très avancée voir absent dans la plupart des parties comme le montre la carte du couvert végétal (Fig 12).

Malgré une densité relativement forte, La forets des Babors est en état relique, située dans le nord Est du bassin versant, une zone la plus arrosée, la plus élevée (2000 m) de la région et enneigée durant une bonne partie de l'année, elle s'étend sur une superficie de 2000 ha et constituée de chêne vert, chêne zéen et de sapin de Numidie. La forêt des Babors abrite pas mal d'espèces faunistiques et c'est pourquoi elle est classée une réserve naturelle. Ces timides espaces végétaux subissent encore des défrichements, cueillettes de bois et parfois des incendies.

On note quelques maquis maigres de densité et superficie faibles au sud ouest du bassin versant au niveau de Dj Lanini, ils sont aussi dans un état très dégradé.

Les terrains nus constituent 90% de la superficie totale du bassin versant, c'est une situation qui résume deux siècles et un demi de défrichement.

Le bassin versant du barrage de Ighil Emda a été le théâtre d'une opération de défrichement massif qui a débuté pendant et bien avant l'occupation française et il ya deux siècles en moins de ça selon nos arrières grands pères, eux, qu'ils racontent que la région était tout à fait couverte telle que la forêt actuelle de Djbel Babors.

5 ANALYSE DES FACTEURS CLIMATIQUES

Introduction

Outre les facteurs morphologiques, lithologiques et biogéographiques, les conditions climatiques du bassin versant jouent un rôle capital dans le comportement hydrologique des cours d'eau (**Roche 1963, Cosande, 2001...**) et dans l'évolution morphodynamique des versants.

Les précipitations sont évidemment le facteur essentiel des régimes hydrologiques puisqu'elles constituent la matière première des débits des cours d'eau. La nature de l'information dont on a besoin à leur sujet dépend du problème à traiter : bilan, crue maximale sur un petit ou sur un grand bassin, etc. D'autre part, les méthodes d'interprétation peuvent différer suivant la nature des observations existantes dont, souvent, il faut bien se contenter. (**M. ROCHE, 1963, Hydrologie de surface**).

Les précipitations, surtout liquides, interviennent par:

- leur hauteur totale annuelle qui détermine l'abondance fluviale,
- leur répartition mensuelle et saisonnière qui influence directement les régimes hydrologiques,
- leurs totaux journaliers et surtout les averses génératrices de crues.

Ces différents aspects des précipitations sont plus ou moins modifiés selon l'effet combiné des autres paramètres physiques cités plus haut et climatiques (températures et évapotranspiration). Mais, contrairement aux paramètres proprement physiques permettent une interprétation seulement qualitative du comportement hydrologique des bassins, les précipitations et les facteurs climatiques dans leur ensemble, variables aléatoires dans le temps et l'espace, permettent d'expliquer quantitativement les variations des composantes du régime hydrologique dans sa conception la plus large.

C'est pourquoi une attention particulière est portée, dans cette étude, sur les aspects climatiques du bassin versant d'Ighil Emda et plus spécialement aux précipitations. En effet, les précipitations qui sont de loin les plus importantes agissent directement dans l'alimentation pluviale de l'écoulement des Oueds mais aussi dans l'activité érosive.

Le réseau des stations pluviométriques déployées dans le bassin versant est cependant loin d'être satisfaisant. Le manque de documentation est notoire, les longues séries d'observation sont rares et même s'ils en existent elles sont souvent entachées de lacunes. Toutefois, nous allons tenter de faire ressortir les caractères généraux du climat du bassin, ses nuances spatiales et ses irrégularités temporelles à partir de la documentation disponible. Les séries pluviométriques qui présentaient des lacunes ont été largement homogénéisées avant leur utilisation (Comblement des lacunes par méthodes de double cumule); cela est essentiel pour arriver à une série longue et continue.

Malgré le caractère fragmentaire des mesures, les températures atmosphériques du bassin seront esquissées en soulignant plus particulièrement l'importance de la saison sèche et donc l'effet déterminant de l'évapotranspiration, paramètre essentiel du déficit d'écoulement.

Climat général de la zone

Selon les conclusions faites par Seltzer (1913-1946) relatives au climat de l'Algérie (pp 207 à 210), il souligne que, le climat de l'Algérie est partout méditerranéen caractérisé par une période pluvieuse allant en moyenne de Septembre à Mai et un été sec et ensoleillé.

L'Atlas tellien (dont notre zone fait partie) joue le rôle d'un rempart qui provoque la condensation et les précipitations d'une partie de la vapeur d'eau amenée par les vents soufflant de la mer. L'altitude entraîne une diminution générale de la température, l'éloignement de la mer, une augmentation des amplitudes diurnes et annuelles.

Le climat de l'Atlas tellien présentera donc tous les degrés intermédiaires entre un climat de montagne pluvieux, froid à amplitude thermique relativement faible avec chutes de neige et un climat de plaines plus sec relativement chaud et à forts écarts thermiques.

5.1 Les températures

Les mesures de température dans le bassin versant du Barrage de ighil Emda ont un caractère fragmentaire, malgré ça, elles seront esquissées en soulignant plus particulièrement l'importance de la saison sèche et donc l'effet déterminant de l'évapotranspiration, paramètre essentiel du déficit d'écoulement. La connaissance de la saison sèche permet ainsi de connaître la durée durant laquelle les sols sont soumis à l'effet de température qui est un agent de météorisation qui fragilise la consistance des formations superficielles et prépare le matériau pour être érodé.

Les stations météorologiques existantes du bassin versant ne fournissent pas les valeurs de température de l'aire, c'est pourquoi nous avons opté pour la station la plus proche dont le choix a été fait sur la base d'étude des cartes iso-thermique établies par Seltzer (1946). Nous avons constaté que la station de Sétif, situé au sud du bassin versant, est la plus représentative de la région.

Les valeurs de températures moyennes mensuelles et annuelles de la station représentative du bassin versant, avec les minima, les minimales absolues, les maxima et les maximales absolues sont présentés dans le Tab. suivant :

Tab. 4: Les températures à la station de Sétif (° C)

MOIS	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An
Min	0,4	1,1	3,2	5,5	9,2	13,5	16,9	16,7	13,9	9,1	4,5	1,3	7,9
Min abs.	-6,4	-6,2	-5,6	-2,4	-2,3	3,2	7,0	8,4	4,8	-0,5	-2,8	-9,3	-9,3
Moy	4,8	6,1	8,6	11,8	15,8	20,6	24,7	24,3	20,45	14,8	9,3	5,7	13,9
Max	9,2	11,0	14,0	18,1	22,4	27,7	32,5	31,9	27,00	20,4	14,0	10,1	19,9
Max abs.	20,4	24,1	25,6	29,0	33,4	38,0	41,0	38,8	36,8	30,1	26,0	20,4	41,0

La lecture du Tab. montre que :

La température moyenne annuelle est égale à **13,9°C**. Les mois les plus chauds sont les mois d'été, soit : Juin, Juillet, Août et Septembre durant lesquels les températures moyennes dépassent les **20°C**. De Novembre à mars, les températures moyennes mensuelles sont inférieures à la moyenne annuelle. Les températures minimales et maximales absolues sont respectivement de **-9,30°C** et **41°C**. L'amplitude thermique annuelle est donc de **31,7°C**

La forte amplitude diurne annuelle au niveau du bassin versant s'explique par le fait de soustraction de l'effet régulateur de la mer.

La soustraction, de la zone d'étude, à l'influence maritime est due essentiellement à l'influence des massifs montagneux des Babors qui constituent une barrière qui tourne le dos à la mer.

La position latitudinale est une cause importante de la forte amplitude diurne

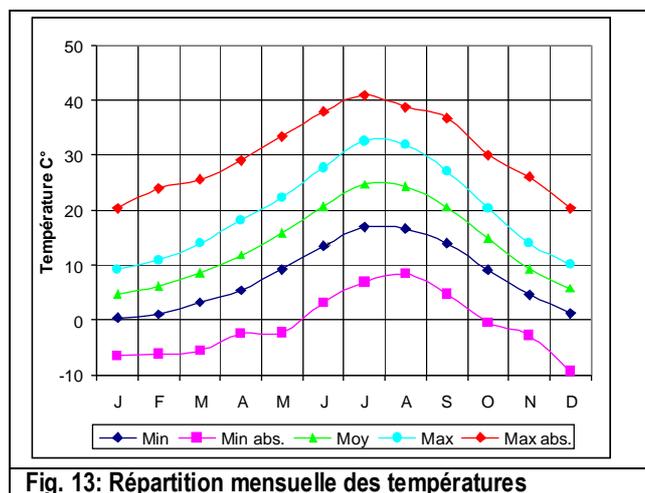


Fig. 13: Répartition mensuelle des températures

5.2 Les précipitations

5.2.1 Données exploitées et stations retenues

Plusieurs études climatologiques ont été établies à l'échelle du territoire algérien, les premières ont été initiées à l'époque coloniale et prises en charge par l'institut de météorologie et de physique du globe de l'Algérie à sa tête P. Seltzer 1913-1938, en déployant un réseau d'observation à l'échelle du territoire de telle manière à étudier l'ensemble des paramètres climatiques. Les observations ont été marquées par des données fragmentées et entachées d'erreurs, une première annale météorologique intitulée Climat de L'Algérie a été publiée en 1946 par P.Seltzer. À partir de l'année 1963 une opération de réhabilitation a été lancée par (L'ANRH) et l'ONM, un bon nombre de station a été restructuré et le réseau d'observation a été remarquablement densifié. Malgré ces efforts employés la qualité des observations a été relativement médiocre et les données ne sont pas dépourvues d'erreurs, en plus, faute de sécurité ces dernières années, plusieurs postes ont cessé de fonctionner (Station de Dj Babor arrêtée depuis 1992).

Les stations retenues

Dans cette étude portée sur le bassin versant du Barrage de Ighil Emda, nous avons retenu 4 stations pluviométriques déployées régulièrement à l'intérieur des limites du bassin versant et appartenant à l'ANRH, un nombre faible vu la superficie du bassin versant qui est de 645 km² ce qui fait un moyen de 1 station pour 128 km².

Une série d'observation récente de 39 ans a été établie allant de 1969 à 2007,

Tab. 5 : Coordonnées géographique et altitudes des stations pluviométriques

Nom	Code ANRH	x	y	z	Nb Années	Qualité
Tizi nbraham	30206	714450	354100	860	39	Lacunaire
Ain roua	30205	722900	399950	1100	39	Lacunaire
Amouchas	30204	743600	346150	800	39	Lacunaire
Barrage Ighil Emda					39	Complete

5.2.2 Contrôle des séries d'observation

Pour résoudre le problème de fiabilité des données, l'emploi d'outils statistiques et graphiques est nécessaire pour contrôler la qualité des échantillons pluviométriques et déceler l'anomalie qui pourrait les affecter en vue de leur homogénéisation. Cette dernière opération est indispensable si l'on veut déterminer de façon plus ou moins précise les caractéristiques des précipitations.

La méthode des « **doubles cumuls** » nous a permis de faire une vérification complète des totaux annuels.

Cette méthode consiste à comparer les totaux cumulés relevés aux postes pluviométriques à ceux d'un poste de référence ayant fonctionné sur une période longue et continue et dont la série est homogène (Mébarki. A, 1984).

En effet, l'application de cette méthode doit tenir compte de deux conditions préalables, à savoir l'existence d'une liaison positive significative entre les totaux cumulés annuels (corrélation) et l'ajustement de ces totaux à une distribution statistique normale ou Loi de Gauss.

Le poste du Barrage de Ighil Emad a été choisi comme référence supposée non entachée d'erreurs, ce poste servira de base de comparaison aux autres postes (3 poste) se trouvant dans des conditions climatiques comparables.

Après une représentation graphique des données des totaux cumulés des stations (Référence sur l'axe des abscisses, celles à vérifier sur l'axe des ordonnées), nous avons constaté que les points sont distribués d'une façon linéaire pour l'ensemble des stations contrôlées avec la station d'Ighil Emda. On peut en conclure que les séries des stations de Ain Roua, Tizi N'brahem, Amoucha, sont homogènes, avec un coefficient de corrélations $r = 0,9990$, ce qui signifie qu'on a une bonne corrélation

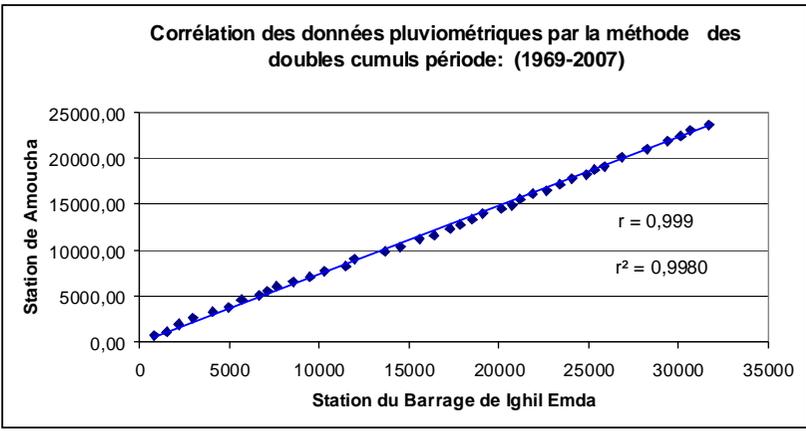


Fig. 14: Corrélation des données pluviométriques à la station de Amoucha

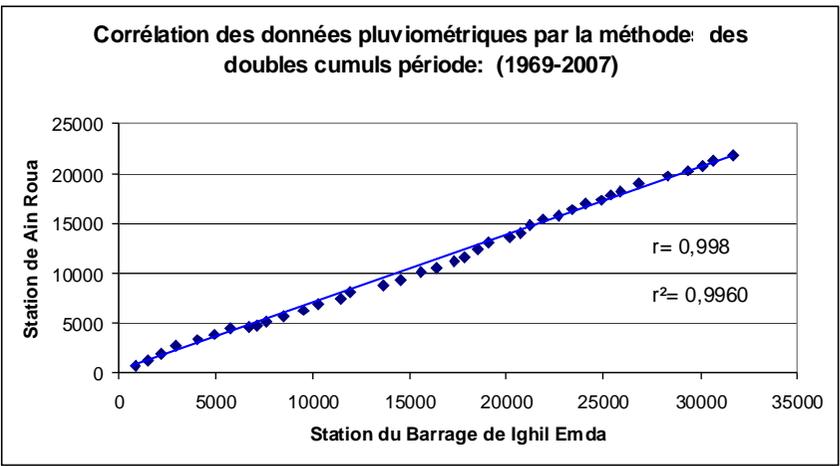


Fig. 15: Corrélation des données pluviométriques à la station de Ain Roua

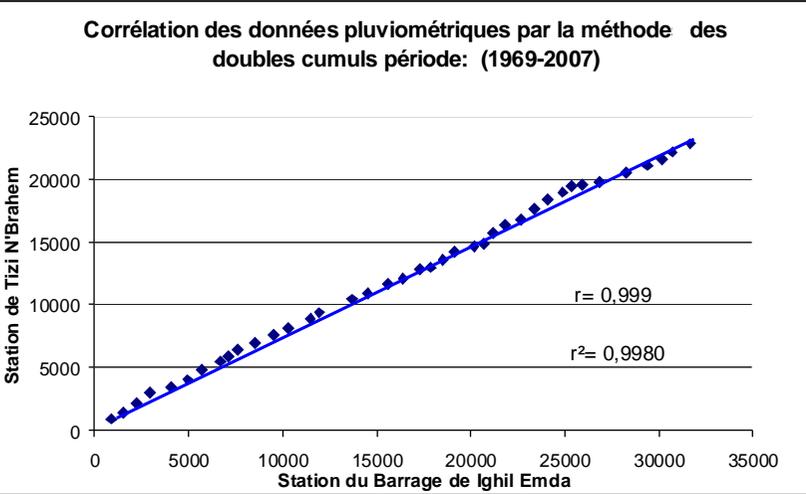


Fig. 16: Corrélation des données pluviométriques à la station de Tizi N'Brahem

5.2.3 Application de la méthode des rapports pour le comblement des lacunes

- 1- Ain Roua
- 2- Tizi N'brahem
- 3- Amoucha

La méthode des rapports est l'une des méthodes les plus utilisées pour le comblement des données. Elle admet que le rapport des hauteurs de pluie tombée pendant un même mois et pendant une série du mois du même nom était la même en des stations voisines ; son application se fait selon l'équation :

$$Y = a.x$$

Y : valeur inconnue pour un mois particulier à la station lacunaire B

x : valeur correspondante observée à la station de référence A

a : constante d'ajustement égale au rapport de la somme des précipitations observées pendant une période commune aux deux stations :

soit :

$$: a = \frac{\sum P_b}{\sum P_a}$$

Ainsi, par exemple, l'ajustement des données de la station de Amoucha à partir de la station du Barrage de Ighil Emda pour tout les mois lacunaires à exemple d'application pour le mois de septembre 1997 :

$\sum P_a = 696,60$ mm pour le mois de Septembre à la station de Amoucha;

$\sum P_b = 729,7$ mm pour le mois de Septembre à la station du Barrage de Ighil Emda;

d'où la constante d'ajustement : $a = 729,7 / 696,60 = 1,048$.

Sachant que la hauteur de précipitation du mois de Septembre était de 42,9 mm à Ighil Emda, la valeur correspondante à Amoucha serait de :

$$x = 42,9 \text{ mm} \quad y = 1,048 * 42,9 = 44,9384582 \text{ mm.}$$

Après le traitement statistique des données (utilisation de la méthode double cumul et celles des rapports) nous avons retenu les 4 stations.

5.2.4 Précipitations moyennes interannuelles

Le traitement statistique des séries d'observation pluviométriques a été automatisé à l'aide de macros commandes sous Excel et permet de calculer les paramètres pluviométriques essentiels.

Les relations utilisées pour calculer ces derniers sont les suivantes :

$$P_N = \frac{\sum P_i}{n} \pm \varepsilon_n \quad (\text{mm})$$

où P_N est la moyenne pluviométrique interannuelle (mm);

P_i - précipitations annuelles (mm);

n - nombre d'années de la série;

ε_n - intervalle de confiance.

Cette moyenne est évaluée avec une probabilité de 80 %, valeur adoptée le plus souvent en Hydrologie et calculée selon l'expression :

$$\varepsilon_{80\%} = \frac{1,28\sigma}{\sqrt{n-1}} \quad (\text{mm})$$

1,28 étant la variable de Gauss correspondant à un seuil de probabilité de 80 %, et σ est l'écart type de la série:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (P_i - P_n)^2}{n-1}} \quad (\text{mm})$$

Afin de comparer les résultats des plusieurs sites l'incertitude est normalisée en pourcentage:

$$\varepsilon_n = \frac{\sigma}{P_n} 100 \quad (\%)$$

Le coefficient de variation est égal:

$$Cv = \frac{\sigma}{P_n}$$

Les résultats sont résumés dans le Tab. suivant

Tab. 6 : Caractéristiques pluviométriques interannuelles (1969-2007)

N°	Nom de la station	X	Y	Z	N ^{bre} d'années d'observation	Pan [mm]	Ecart- type [mm]	Cv	i.conf 80% [mm]	Pa min [mm]	Pa max [mm]
1	Amoucha	743600	346150	800	39	607,71	168,073	0,277	34,899	293,900	1015,50
2	Ain Roua	722900	399950	1100	39	600,64	154,284	0,257	32,036	330,300	1165,78
3	Tizi N'Brahem	714450	354100	860	39	621,28	172,42	0,278	35,80	222,0	1044,60
4	Ighil Emda	-	-	570	39	812,78	277,612	0,342	57,644	427,300	1735,80

Selon les résultats obtenus, on constate qu'on ne peut pas établir une relation entre les hauteurs de pluies moyennes précipitées et les altitudes car les variables sont decorréllées ce qui explique que d'autres variables (facteurs) conditionnent la quantité des pluies tombé à l'échelle du bassin versant.

5.2.5 Précipitation moyenne interannuelle sur le bassin versant

Les pluviomètres installés dans le bassin versant donnent des indications ponctuelles sur la quantité d'eau tombée, et ne peuvent pas représenter les conditions pluviométriques exactes sur une étendue importante. C'est pourquoi, la détermination de la précipitation moyenne sur un bassin versant est nécessaire pour connaître la tendance pluviométrique globale du bassin versant.

Il n'est pas souvent facile de calculer ce paramètre mais plutôt délicat surtout quand il n y a pas suffisamment de stations ou bien la répartition des postes est mauvaise.

Plusieurs méthodes permettent de calculer la hauteur des précipitations tombée sur un bassin versant les plus usuelles sont :

5.2.5.1 Méthode de moyenne arithmétique

Cette méthode simple, néanmoins assez grossière consiste à calculer la moyenne arithmétique de hauteurs de précipitation relevées au cours du même intervalle du temps au diverses stations de mesures du bassin, cette méthode reste peu précise car en l'absence de pointe d'observation suffisamment nombreux, risque de donner trop d'importance aux valeurs extrêmes, car la répartition des stations n'est pas homogène sur l'ensemble du bassin, de ce fait la variation des précipitations d'une station à l'autre reste importante.

$$\overline{P} = \frac{\sum P_i}{N}$$

-Pi : Précipitation moyenne à la station i en (mm).

-N : Nombre de station d'observation.

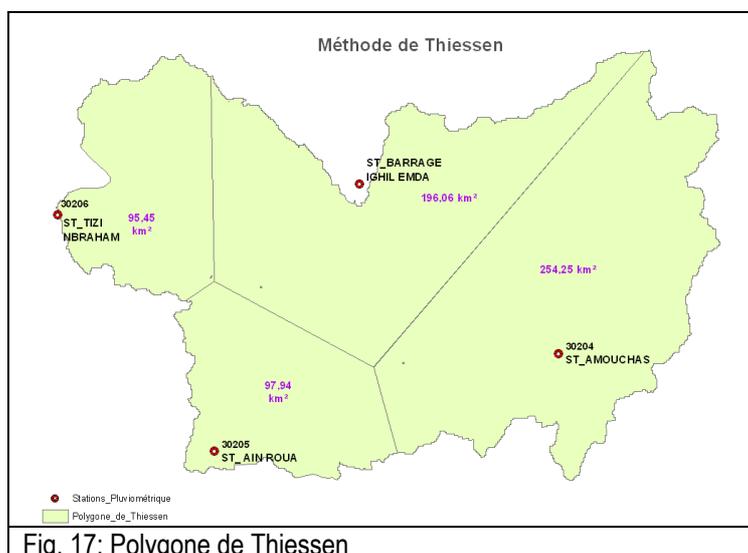
Tab. 7 : Caractéristiques pluviométriques annuelles du bassin versant

N°	Nom de la station	X	Y	Z	Nbre d'années d'obser- vation	Pan [mm]
1	Amoucha	743600	346150	800	39	607,71
2	Ain Roua	722900	399950	1100	39	603,32
3	Tizi N'Brahem	714450	354100	860	39	621,28
4	Ighil Emda	-	-	570	39	812,78
					<i>P moy des 4 Stations</i>	660,6

5.2.5.2 Méthode de Thiessen

La méthode de Thiessen est une méthode arithmétique dans laquelle on attribue à chaque pluviomètre un poids proportionnel à une zone d'influence présumée, telle qu'un point situé dans cette zone soit plus près, en distance horizontale que de tout autre pluviomètre correspondant tout autre pluviomètre. La méthode ne tient donc compte que de la distribution spatiale en plan des stations.

$$P_{moy} = \frac{P_i \text{ St Barrage} * \text{Surface} + P_i \text{ St Tizi N'brahem} * \text{Surface} + P_i \text{ St Amoucha} * \text{Surface} + P_i \text{ St Ain Roua} * \text{Surface}}{\text{Surface Totale}}$$



Tab. 8 : Données de surface de polygones de Thiessen

Station	Pi	Surface du Polygone de Thiessen	Produit	P moy
Amoucha	607,71	254,25	154510,268	671,10 mm
Ain Roua	603,32	97,94	58826,6816	
Tizi N'Brahem	621,28	95,45	59301,176	
Ighil Emda	812,78	196,06	159353,647	
Total= 643,7			Total= 431991,772	

On constate que la valeur de la pluie moyenne du bassin versant obtenue par la méthode de Thiessen est légèrement supérieure à la valeur obtenue par la méthode de moyenne arithmétique. Selon M.ROCHE la méthode de Thiessen donne des résultats satisfaisants.

5.2.6 Variation interannuelle des précipitations

5.2.6.1 Variabilité interannuelle

Le phénomène de variabilité inter-annuelle des modules pluviométriques est bien exprimé par le coefficient de variation (Cv), voir Tab., traduisant la dispersion relative des pluies.

Les coefficients de variation varient entre 0,277 comme valeur minimale à la station de Amoucha et 0,342 au Barrage de Ighil Emda. Autrement dit l'irrégularité pluviométrique est importante surtout durant les mois à faible pluviosité. On observe que la différence entre les moyennes précipitées d'une année à une autre peut atteindre les 134 % durant le mois de Juillet à la station de Ain Roua et 136% durant le mois de Aout à la station de Amoucha.

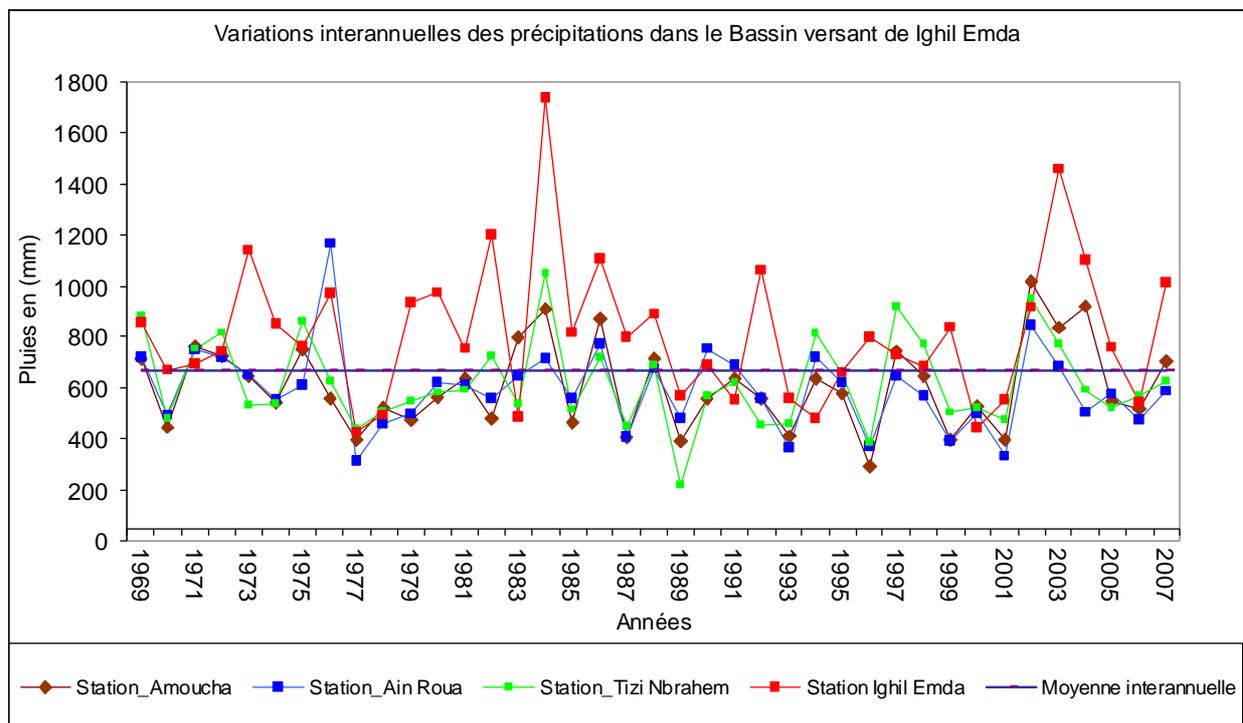


Fig. 18: Variation interannuelle des précipitations du Bassin versant d'Ighil Emda

La lecture des graphes de variation interannuelle des précipitations par rapport à la moyenne interannuelle du bassin versant révèle qu'il ya une périodicité entre séquence sèche et séquence pluvieuse, dès pics d'une importance considérable peuvent être enregistrés de manière cyclique et

se produisent exceptionnellement toutes les 20 ans (1984-2002), avec de petites répliques tous les 5 ans.

5.2.6.2 Écart à la moyenne

Afin de caractériser la pluviosité propre à chaque année, il convient de tenir compte de « l'écart à la moyenne » correspondant à l'excédent ou au déficit de précipitations de l'année considérée, rapporté à la moyenne de la série étudiée de chaque station.

L'écart, exprimé en pourcentage, à la moyenne est défini comme l'écart du total de l'année considérée comme la plus sèche (non pluvieuse) ou la plus pluvieuse de la série par rapport à la moyenne totale de la série. D'après les résultats rapportés dans le Tab. 05, on remarque que l'ampleur de cet écart dépasse en général les 40 % de la moyenne pour l'ensemble des stations.

Tab. 9 : Ecart à la moyenne des pluies annuelles

Année de référence	Ecart à la moyenne en (%) par stations			
	Ain Roua	Amoucha	Tizi n'Brahem	Ighil Emda
Année non pluvieuse (1976-1977)	-48	-35	-29	-47
Année pluvieuse (1983-1984)	21	49	68	114
Année non pluvieuse (1988-1989)	-20	-35	-64	-30
Année non pluvieuse (1992-1993)	-38	-33	-26	-31
Année non pluvieuse (1995-1996)	-38	-52	-38	-2
Année non pluvieuse (2000-2001)	-44	-35	-23	-32
Année pluvieuse (2001-2002)	43	67	53	13

Il s'avère que les années extrêmes, non pluvieuses et pluvieuses, commune à la quasi-totalité des stations correspondent respectivement à l'année non pluvieuse (1976/77) et l'année pluvieuse (1983/84).

Les périodes de non pluviosité extrême ont marqué ainsi les années (1988-1989), (1992-1993), (1995-1996), (00,01). L'année 2002 a connu le retour à une période pluvieuse extrême ou l'Ecart à la moyenne était en moyenne 50% pour les stations de Amoucha, Ain Roua et Tizi n'Brahem.

Cette analyse de l'écart à la moyenne nous servira de moyen de corrélation entre pluviosité et degré de sédimentation par les éléments solides.

5.2.7 Précipitations mensuelles interannuelles

La répartition mensuelle des pluies indique des maxima en hiver dépassant les 14 % notamment le mois de décembre. Les minimas sont atteints en période estivale, notamment entre Juillet et Août (2 %). Plus de 42% des précipitations annuelles tombent en hiver de 75 % des précipitations annuelles tombent en l'espace de 6 mois (entre Novembre et Avril).

Tab. 10 : Données pluviométriques moyennes mensuelles interannuelles (69/07)

Pluie moyenne mensuelle interannuelle (1969-2007) Ain Roua													
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Pmoy	44,43	40,59	62,31	89,96	75,97	65,70	72,13	64,57	50,00	16,03	9,60	11,29	602,58
Pmoy%	7,37	6,74	10,34	14,93	12,61	10,90	11,97	10,72	8,30	2,66	1,59	1,87	100,00
Ecart-type	29,60	30,46	43,91	59,89	50,01	44,06	50,09	39,16	33,85	16,52	13,07	9,88	
Cv	0,67	0,75	0,70	0,67	0,66	0,67	0,69	0,61	0,68	1,03	1,36	0,87	0,257

Pluie moyenne mensuelle interannuelle (1969-2007) Tizi N'Brahem													
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Total
Pmoy	32,6	56,0	66,9	102,8	89,3	74,9	74,5	65,4	38,6	12,6	2,1	5,6	621,3
Pmoy%	5,2	9,0	10,8	16,5	14,4	12,0	12,0	10,5	6,2	2,0	0,3	0,9	100,0
Ecart-type	30,2	62,4	66,6	78,6	69,7	53,2	56,2	45,4	32,4	13,9	4,8	9,3	
Cv	0,9	1,1	1,0	0,8	0,8	0,7	0,8	0,7	0,8	1,1	2,3	1,7	0,278

Pluie moyenne mensuelle interannuelle (1969-2007) Amoucha													
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	annuel
Pmoy	38,00	41,48	59,53	103,64	82,78	74,73	70,30	59,87	43,46	14,30	5,36	11,43	604,87
Pmoy%	6,28	6,86	9,84	17,13	13,68	12,35	11,62	9,90	7,18	2,36	0,89	1,89	100,00
Ecart-type	27,56	38,43	48,15	83,26	63,32	60,37	45,99	37,18	28,73	15,15	11,65	15,69	
Cv	0,73	0,93	0,81	0,80	0,76	0,81	0,65	0,62	0,66	1,06	2,17	1,37	0,277

Pluie moyenne mensuelle interannuelle (1969-2007) Barrage Ighil Emda													
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	annuel
Pmoy	39,04	59,87	85,41	168,03	122,96	107,23	102,08	80,27	38,20	13,46	4,19	8,28	829,02
Pmoy %	4,71	7,22	10,30	20,27	14,83	12,93	12,31	9,68	4,61	1,62	0,51	1,00	100
Ecart-type	26,57	49,79	75,04	130,07	92,72	88,26	78,80	67,99	30,76	13,87	7,48	10,48	
Cv	0,68	0,83	0,88	0,77	0,75	0,82	0,77	0,85	0,81	1,03	1,79	1,27	0,342

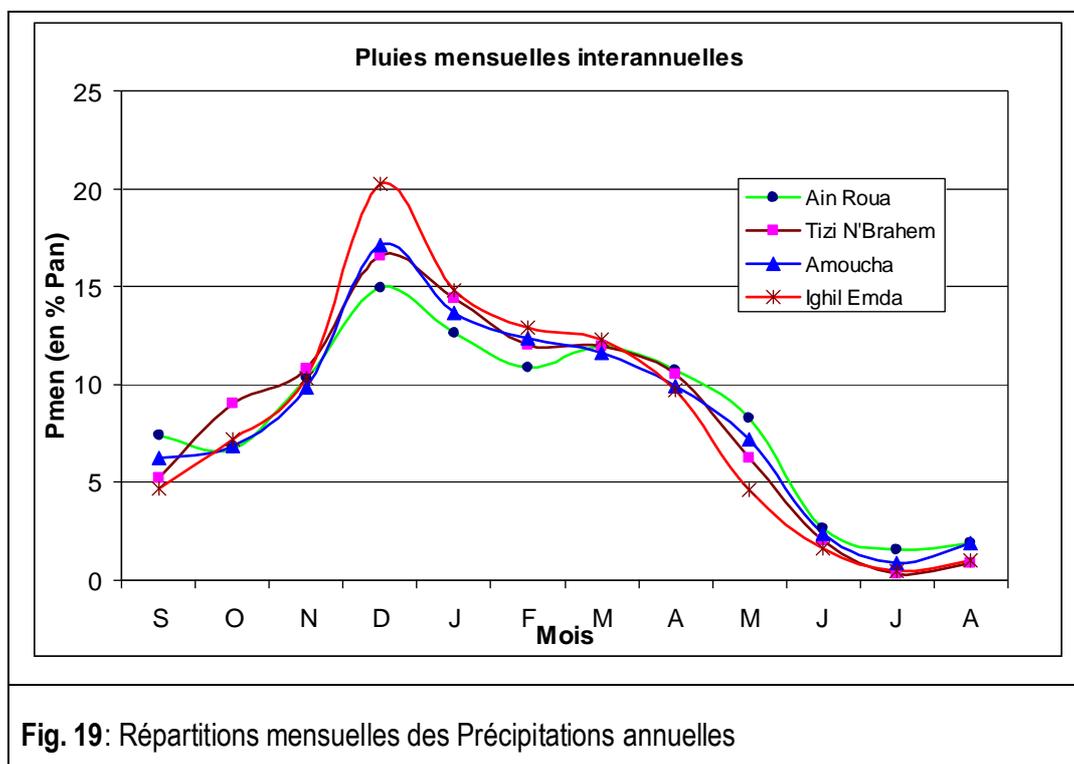


Fig. 19: Répartitions mensuelles des Précipitations annuelles

La répartition mensuelle des précipitations est presque similaire sur l'ensemble des stations

5.2.8 Précipitations journalières maximales

Les valeurs relatives aux pluies journalières maximales ont été obtenues auprès de l'ANRH, une série d'observation de 39 ans au niveau de trois stations.

Les données des pluies journalières maximales interannuelles sont résumées dans le Tab. ci-après :

Tab. 11 : Caractéristiques des pluies maximales journalières, source ANRH (1969 -2007)

N°	Station	X	Y	N ^{bre} d'années	Pjmax [mm]	Ecart- type [mm]	Cv	i.conf 80% [mm]	Pjmax min [mm]	Pjmax max [mm]
1	Ain Roua	722900	399950	37	48,77	15,53	0,31	3,26906 147	21	82,5
2	Amoucha	743600	346150	39	52,58	20,49	0,38	4,20082 3	24	109,5
3	Tizi N'Brahem	714450	354100	36	62,87	22,31	0,35	4,76016 93	24	108

5.2.9 Études fréquentielles des pluies

L'étude fréquentielle des précipitations consiste à trouver un modèle fréquentiel qui décrit le comportement statistique des valeurs extrêmes. Dans cette étude nous avons choisi la loi d'ajustement statistique de GUMBEL.

La loi de Gumbel est souvent utilisée pour ajuster les séries de pluies maximales et les débits correspondants. Dans ce cas et dans ce cas uniquement, le caractère exponentiel de cette distribution est décrit par la pente de la droite d'ajustement des pluies observées. La pente de cette droite est le GRAdient de cette distribution Exponentielle, d'où le nom de la méthode GRADEX.

Chercher le « GRADEX » des pluies journalières ou annuelles observées consiste donc à procéder à l'ajustement des valeurs maximales annuelles selon une distribution de Gumbel pour en déduire une estimation du paramètre b1 de la droite d'ajustement $x_q = a + bu_q$ (avec u : variable réduite de Gumbel).

La fonction de répartition de la loi de Gumbel $F(x)$ s'exprime de la manière suivante :

$$F(x) = \exp\left(-\exp\left(-\frac{x-a}{b}\right)\right) \quad (1) \quad \text{avec la variable réduite suivante : } u = \frac{x-a}{b}$$

où a et b sont les paramètres du modèle de Gumbel.

La distribution s'écrit alors de la manière suivante :

$$F(x) = \exp(-\exp(-u)) \quad (3) \quad \text{et } u = -\ln(-\ln(F(x)))$$

L'avantage d'utiliser la variable réduite est que l'expression d'un quantile est alors linéaire $x_q = a + bu_q$

En conséquence, dès lors que les points de la série à ajuster peuvent être reportés dans un système d'axes x-u, il est possible d'ajuster une droite qui passe le mieux par ces points et d'en déduire les deux paramètres a et b de la loi. L'estimation des paramètres a et b de l'ajustement peut se faire graphiquement (ajustement à l'œil ou à l'aide d'une régression statistique), ou selon une méthode mathématique comme celle des moments.

En pratique il s'agit essentiellement d'estimer la probabilité de non dépassement $F(x_r)$ qu'il convient d'attribuer à chaque valeur x_r . Il existe de nombreuses formules d'estimation de la fonction de répartition $F(x)$ à l'aide de la fréquence empirique. Elles reposent toutes sur un tri de la série par valeurs croissantes permettant d'associer à chaque valeur son rang r . Des simulations ont montré que pour la loi de Gumbel, il faut utiliser la fréquence empirique de Hazen :

$$F(x_{[r]}) = \frac{r-0.5}{n}$$

où r est le rang dans la série de données classée par valeurs croissantes, n est la taille de l'échantillon, $x_{[r]}$ la valeur de rang r .

Rappelons encore que le temps de retour T d'un événement est défini comme étant l'inverse de la fréquence d'apparition de l'événement. Soit :

$$T = \frac{1}{1 - F_Q(x_Q)}$$

A l'aide de l'ajustement, il est alors possible d'estimer la pluie maximale pour un temps de retour donnée

5.2.9.1 Études fréquentielles des pluies annuelles

Les valeurs des pluies annuelle exploitées pour l'ajustement à loi de Gumbel sont intégrées dans l'annexe, nous nous contenterons de présenter les modèles graphiques des quatre stations ajustées ainsi les valeurs de période de retour présentées sous forme de Tab..

L'ajustement à la loi de GUMBEL des pluies annuelles des stations du bassin versant de Ighil Emda est présenté ci-après :

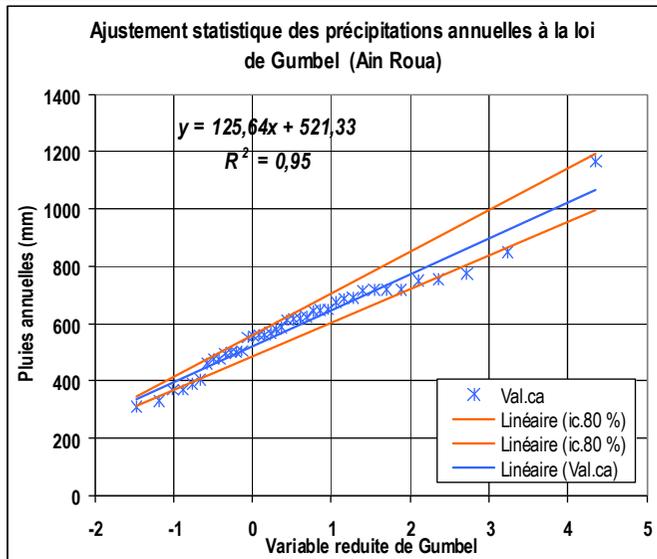


Fig. 20: Ajustement statistique des Pan à la station de Ain Roua

Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences										
P. de retour :	2	4	5	10	20	25	50	100	1000	10000
Fréquence :	0,5	0,75	0,8	0,9	0,95	0,96	0,98	0,99	0,999	0,9999
Variable Gumbel	-									
Variable Gumbel	0,367	-1,246	-1,5	-2,25	-2,97	-3,199	-3,902	-4,6	-6,907	-9,21
Pluies maxima :	475,2	364,8	332,9	238,6	148,2	119,4	31,1	-56,6	-346,5	-635,8
Variable Gumbel										
Variable Gumbel	0,367	1,246	1,5	2,25	2,97	3,199	3,902	4,6	6,907	9,21
Pluies maxima :	567,4	677,9	709,8	804,0	894,5	923,3	1011,6	1099,3	1389,1	1678,5

Tab. 12: Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences à la station de Ain Roua

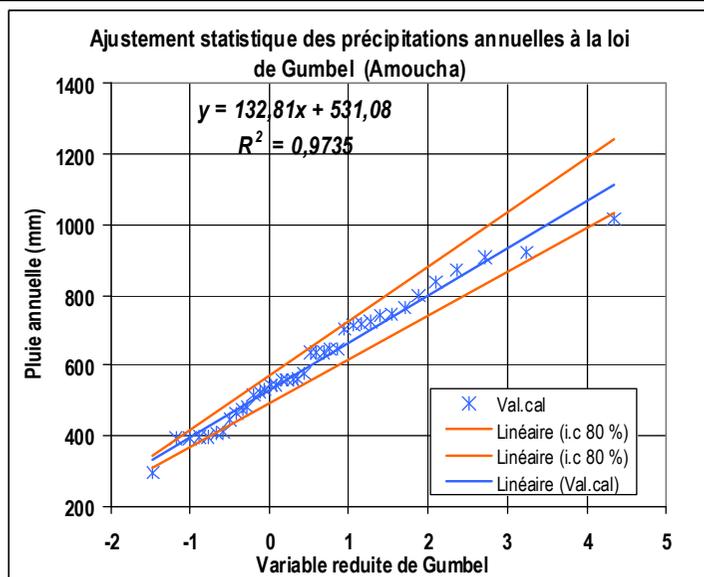


Fig. 21: Ajustement statistique des Pan à la station de Amoucha

Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences										
P. de retour:	2	4	5	10	20	25	50	100	1000	10000
Fréquence:	0,5	0,75	0,8	0,9	0,95	0,96	0,98	0,99	0,999	0,9999
Variable Gumbel	-0,367	-1,246	-1,5	-2,25	-2,97	-3,2	-3,902	-4,6	-6,907	-9,21
Pluies maxima:	482,3	365,5	331,8	232,2	136,6	106,2	12,8	-79,9	-386,2	-692,1
Variable Gumbel	0,367	1,246	1,5	2,25	2,97	3,199	3,902	4,6	6,907	9,21
Pluies maxima:	579,8	696,6	730,3	829,9	925,4	955,8	1049,2	1141,9	1448,3	1754,1

Tab. 13: Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences à la station de Amoucha

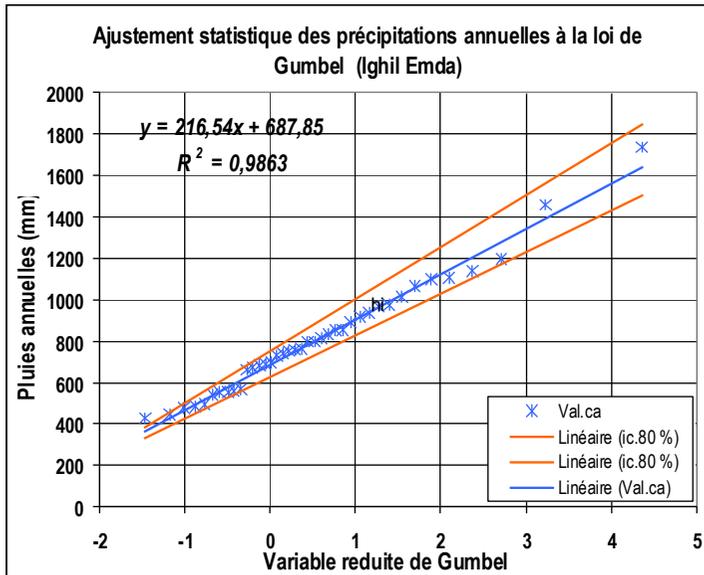


Fig. 22: Ajustement statistique des Pan à la station de Ighil Emda

Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences										
P. de retour:	2	4	5	10	20	25	50	100	1000	10000
Fréquence:	0,5	0,75	0,8	0,9	0,95	0,96	0,98	0,99	0,999	0,9999
Variable Gumbel	-0,367	-1,246	-1,5	-2,25	-2,97	-3,199	-3,902	-4,6	-6,907	-9,21
Pluies maxima:	608,4	418,0	363,0	200,6	44,7	-4,9	-157,1	-308,2	-807,8	-1306,5
Variable Gumbel	0,367	1,246	1,5	2,25	2,97	3,199	3,902	4,6	6,907	9,21
Pluies maxima:	766,3	956,7	1011,7	1174,1	1330,0	1379,6	1531,8	1682,9	2182,5	2681,2

Tab. 14: Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences à la station de Ighil Emda

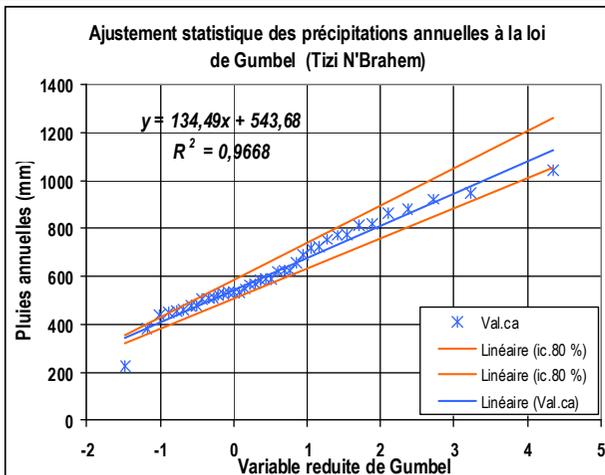


Fig. 23: Ajustement statistique des Pan à la station de Tizi Brahem

Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences										
P. de retour:	2	4	5	10	20	25	50	100	1000	10000
Fréquence:	0,5	0,75	0,8	0,9	0,95	0,96	0,98	0,99	0,999	0,9999
Variable Gumbel	-0,367	-1,246	-1,5	-2,25	-2,97	-3,199	-3,902	-4,6	-6,907	-9,21
Pluies maxima:	494,3	376,1	341,9	241,1	144,2	113,4	18,9	-75,0	-385,2	-695,0
Variable Gumbel	0,367	1,246	1,5	2,25	2,97	3,199	3,902	4,6	6,907	9,21
Pluies maxima:	593,0	711,3	745,4	846,3	943,1	973,9	1068,5	1162,3	1472,6	1782,3

Tab. 15: Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences à la station de Tizi Nbrahem

5.2.9.2 Études fréquentielles des pluies journalières maximales

La même méthode d'ajustement (Gumbel) a été appliquée pour les pluies journalières maximales, les valeurs des pluies journalières maximales ont été enregistrées au niveau de trois station d'observation, il s'agit de la station de Amoucha, Ain Roua et Tizi N'Brahem. Les périodes de retours des valeurs extrêmes ont été calculées pour 9 fréquences, il s'agit de fréquence : (2 ans, 4, 5, 10, 20, 25, 50, 100, 1000, 10000). Toutes les valeurs sont présentées sous forme tabulaire.

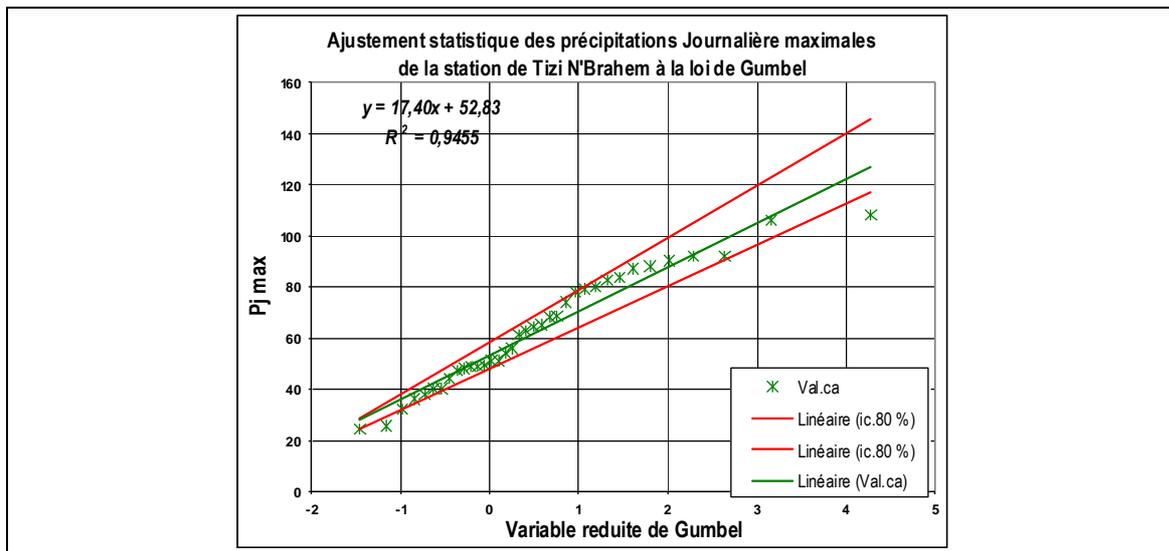


Fig. 24: Ajustement statistique des PjMax à la station Tizi Nbrahem

Précipitations journalières maximales de différentes fréquences										
P. de retour:	2	4	5	10	20	25	50	100	1000	10000
Fréquence:	0,5	0,75	0,8	0,9	0,95	0,96	0,98	0,99	0,999	0,9999
Variable Gumbel	-0,367	-1,246	-1,5	-2,25	-2,97	-3,199	-3,902	-4,6	-6,907	-9,21
Pluies maxima:	46,4	31,1	26,7	13,7	1,2	-2,8	-15,1	-27,2	-67,4	-107,4
Variable Gumbel	0,367	1,246	1,5	2,25	2,97	3,199	3,902	4,6	6,907	9,21
Pluies maxima:	59,2	74,5	78,9	92,0	104,5	108,5	120,7	132,9	173,0	213,1

Tab. 16: Précipitations journalières maximales de différentes fréquences à la station de Tizi Nbrahem

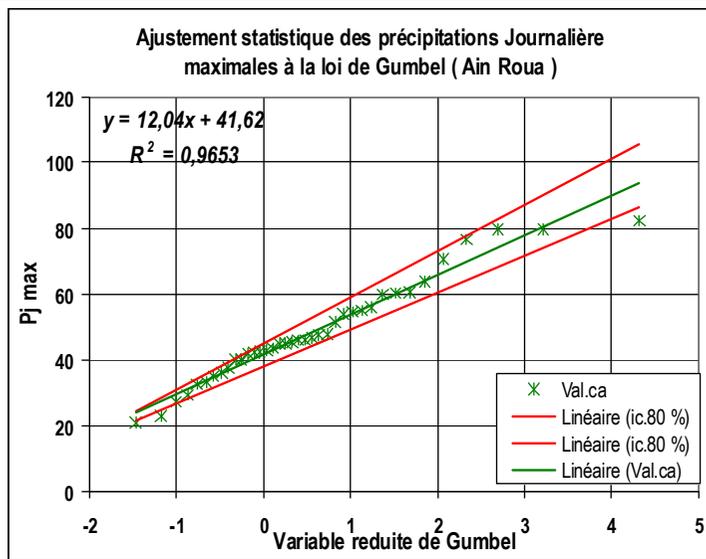


Fig. 25: Ajustement statistique des PjMax à la station d'Ain Roua

Précipitations journalières maximales de différentes fréquences										
P. de retour:	2	4	5	10	20	25	50	100	1000	10000
Fréquence:	0,5	0,75	0,8	0,9	0,95	0,96	0,98	0,99	0,999	0,9999
Variable Gumbel	-0,367	-1,246	-1,5	-2,25	-2,97	-3,199	-3,902	-4,6	-6,907	-9,21
Pluies maxima:	37,2	26,7	23,6	14,6	6,0	3,2	-5,2	-13,6	-41,3	-68,9
Variable Gumbel	0,367	1,246	1,5	2,25	2,97	3,199	3,902	4,6	6,907	9,21
Pluies maxima:	46,0	56,6	59,6	68,6	77,3	80,0	88,4	96,8	124,5	152,1

Tab. 17: Précipitations journalières maximales de différentes fréquences à la station de Ain Roua

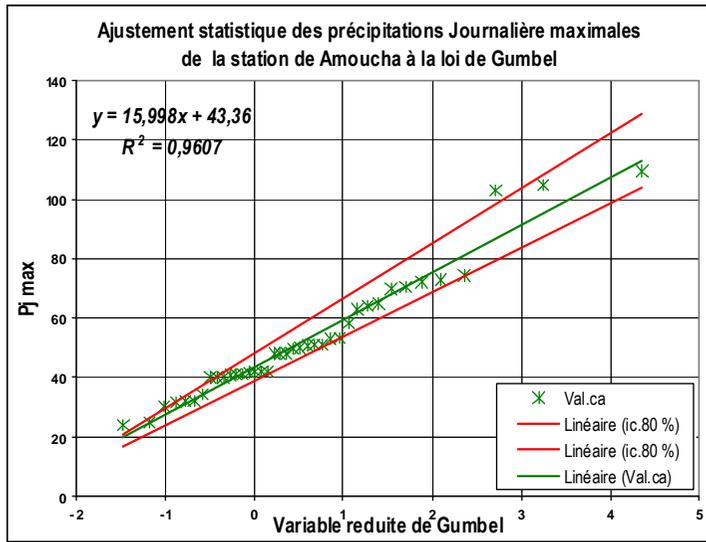


Fig. 26: Ajustement statistique des PjMax à la station Amoucha

Précipitations journalières maximales de différentes fréquences										
P. de retour:	2	4	5	10	20	25	50	100	1000	10000
Fréquence:	0,5	0,75	0,8	0,9	0,95	0,96	0,98	0,99	0,999	0,9999
Variable Gumbel	-0,367	-1,25	-1,5	-2,25	-2,97	-3,199	-3,902	-4,6	-6,907	-9,21
Pluies maxima:	37,5	23,4	19,4	7,4	-4,1	-7,8	-19,0	-30,2	-67,1	-103,9
Variable Gumbel	0,367	1,246	1,5	2,25	2,97	3,199	3,902	4,6	6,907	9,21
Pluies maxima:	49,2	63,3	67,3	79,3	90,9	94,5	105,8	116,9	153,8	190,6

Tab. 18: Précipitations journalières maximales de différentes fréquences à la station de Amoucha

5.3 Les phénomènes climatiques secondaires

Les phénomènes climatiques secondaires sont plus localisés que les pluies dont l'étude est basée sur l'évaluation en fonction du nombre de jours de leur apparition dans l'année. Ces phénomènes sont considérés comme des agents entrant dans les processus d'érosion, à titre d'exemple la cryoclastie qui engendre la fragmentation des roches résultant de la succession du gel et de dégel.

Les données exploitées dans cette étude proviennent du recueil intitulé Climat de l'Algérie publié par Seltzer, elles concernent la période allant de 1923 à 1938. Quatre stations situées à l'intérieur du bassin versant ont été retenues dont les positions géographiques sont les suivantes :

Tab. 19: Coordonnées des postes d'observations des phénomènes secondaires

Station	Longitude	Latitude		Emplacement	Série d'observation
Tizi-N'Béchar	5,37	36,4	900	Maison Cantonnière	1924-1938
Kerrata	5,28	36,5	470	Ponts et Chaussées	1913-1938
Amoucha	5,42	36,4	738	Maison Cantonnière	1914-1938
Aïn-Roua	5,18	36,3	1 100	Maison Cantonnière	1927-1938
Sétif	5,42	36,2	1 081	Jardin Public	1913-1938

Les phénomènes climatiques secondaires étudiés sont :

- 1- Neige
- 2- Gelée Blanche
- 3- Grêle
- 4- Orage
- 5- Siroco

Les valeurs mensuelles des phénomènes climatiques secondaires sont présentées dans le Tab. suivant et sont représentées par des courbes.

Tab. 20: Nombre de jours d'apparition de caractéristiques climatiques secondaires

N°	MOIS	Station	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	An	Moy
1	Pluie	Ain Roua	12,0	10,0	11,0	9,0	8,0	7,0	3,0	3,0	6,0	8,0	11,0	12,0	100,0	
		Amoucha	9,0	8,0	7,0	6,0	6,0	4,0	1,0	1,0	4,0	5,0	7,0	8,0	66,0	
		Kherrata	13,0	12,0	13,0	9,0	8,0	5,0	2,0	2,0	6,0	9,0	12,0	13,0	104,0	
		Tizi N' Bechar	12,0	11,0	12,0	10,0	8,0	5,0	2,0	3,0	7,0	10,0	10,0	11,0	101,0	
2	Neige	Kherrata														2,4
		Amoucha														
3	Gelée Blanche	Kherrata	6,3	3,7	1,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	5,6	18,4	
		Tizi N' Bechar	9,0	4,8	3,4	1,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	2,6	6,6	29,0	
4	Grêle	Kherrata	2,2	2,2	2,1	1,1	0,5	0,1	0,0	0,1	0,2	0,1	0,5	2,0	11,1	
		Amoucha	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	2,3	
		Tizi N' Bechar	1,2	2,1	1,4	0,9	0,8	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	1,1	8,5	
5	Orage	Kherrata	1,3	1,6	1,9	1,8	3,5	3,6	2,2	3,3	3,6	1,9	1,1	1,3	27,1	
		Amoucha	0,7	1,3	1,5	2,0	4,2	4,4	3,3	3,3	4,2	2,4	0,7	1,2	29,2	
		Tizi nBechar	1,3	1,5	1,8	4,3	6,1	5,6	3,3	3,8	5,0	2,0	1,3	1,3	37,3	
6	Siroco	Tizi N' Bechar	0,9	1,0	2,1	3,3	3,0	6,4	8,8	5,4	2,6	1,6	0,9	0,2	36,2	

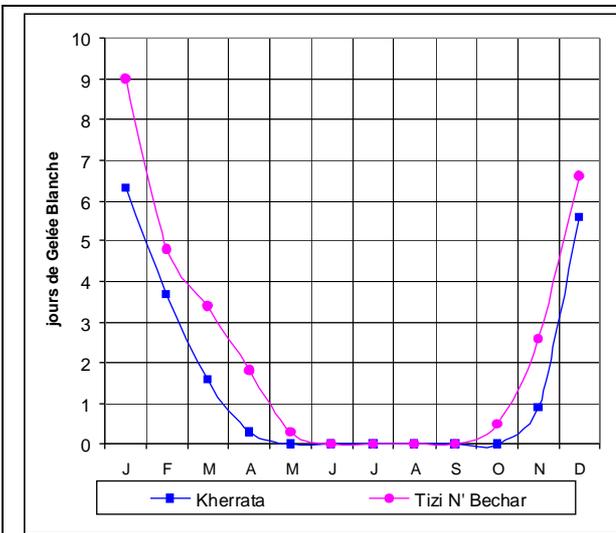


Fig. 27: Nombre de jours d'apparition par an de gelée

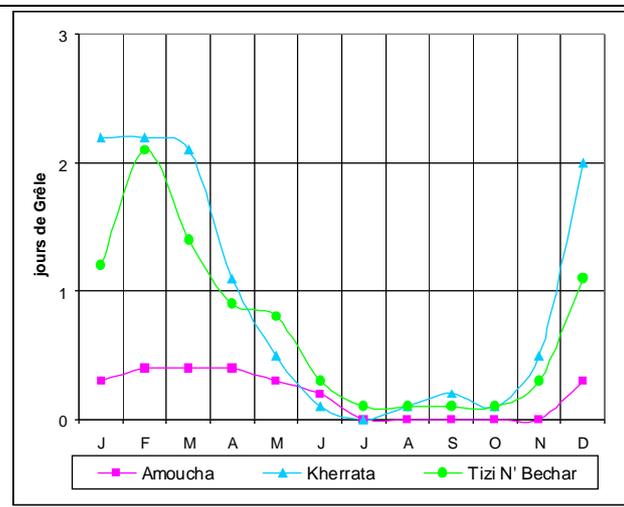


Fig. 28: Nombre de jours d'apparition par an de grêle

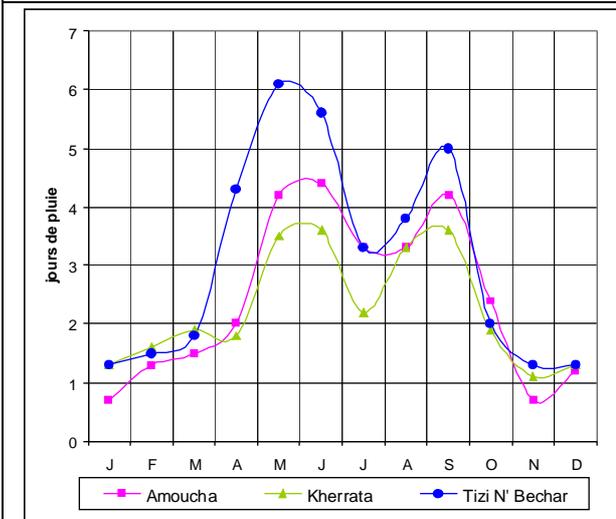


Fig. 29: Nombre de jours d'apparition par an d'orage

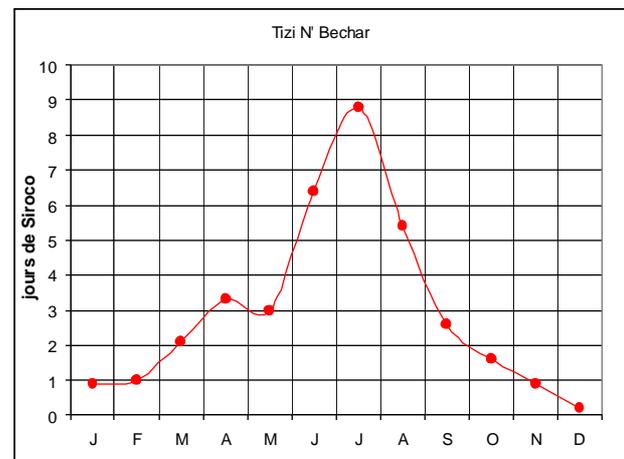


Fig. 30: Nombre de jours d'apparition par an de siroco

5.4 L'évaporation sur une nappe d'eau libre.

L'évaporation sur une nappe d'eau libre est habituellement observée au niveau de bac installé dans des stations climatologiques complètes (ONM) ou au niveau de barrages (ANB). L'évaporation observée au niveau du barrage d'Ighil Emda (entre 1946 à 1953) est de **1577** mm, son coefficient de variation de **0,08** relativement faible, indique une très faible variabilité à l'échelle annuelle : les 8 années d'observations disponibles sont largement représentatives.

Tab. 21: Evaporation au niveau du barrage d'Ighil Emda (1946-53).

Station: **Bge IGHIL EMDA BAC COLORADO** - Oued: **AGRIOUN** - Code: **030201**

Coord= X= 731,00 et Y= 356,20

Z= 490 m

N°	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Ev,an,
Moyenne:	180	101	63	50	50	58	88	110	152	212	269	245	1577
Répart,[%]:	11,4	6,4	4,0	3,2	3,2	3,7	5,6	6,9	9,6	13,5	17,1	15,5	100
Ecart- type:	50,5	18,3	23,4	19,0	13,7	10,3	30,6	22,6	26,6	39,5	37,4	21,1	134
Cv:	0,28	0,18	0,37	0,38	0,27	0,18	0,35	0,21	0,18	0,19	0,14	0,09	0,08
i,conf 80%:	24,4	8,9	11,3	9,2	6,6	5,0	14,8	10,9	12,9	19,1	18,1	10,2	64,6

Cependant pour une meilleure approche, nous avons collecté l'ensemble des informations existantes sur les barrages algériens et testé des relations avec plusieurs paramètres physiques et climatiques. Le meilleur lien de l'évaporation s'établit avec les précipitations.

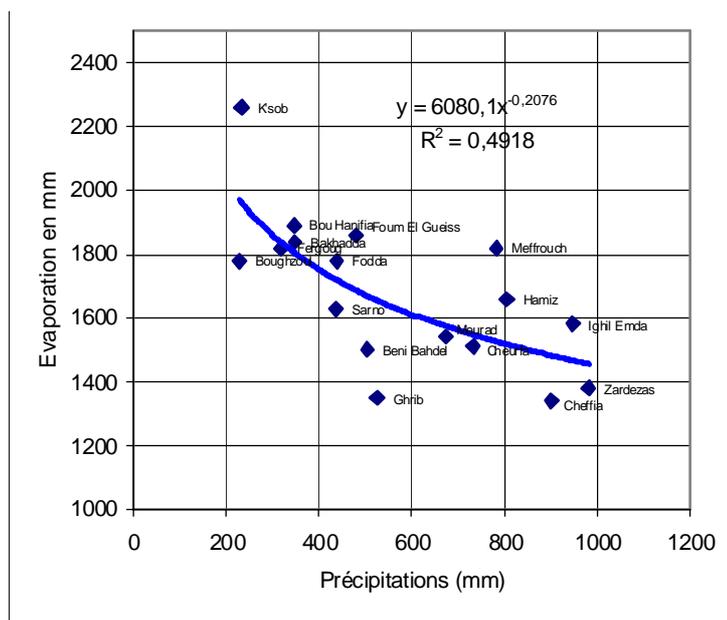


Fig. 31 : Evolution de l'évaporation en fonction des précipitations sur quelques barrages algériens.

Comme le montre la Fig., l'évaporation est inversement proportionnelle aux précipitations et dépend dans une moindre mesure de l'altitude.

De cette relation, nous retenons que l'évaporation au niveau du barrage de Ighil Emda serait de **1530**

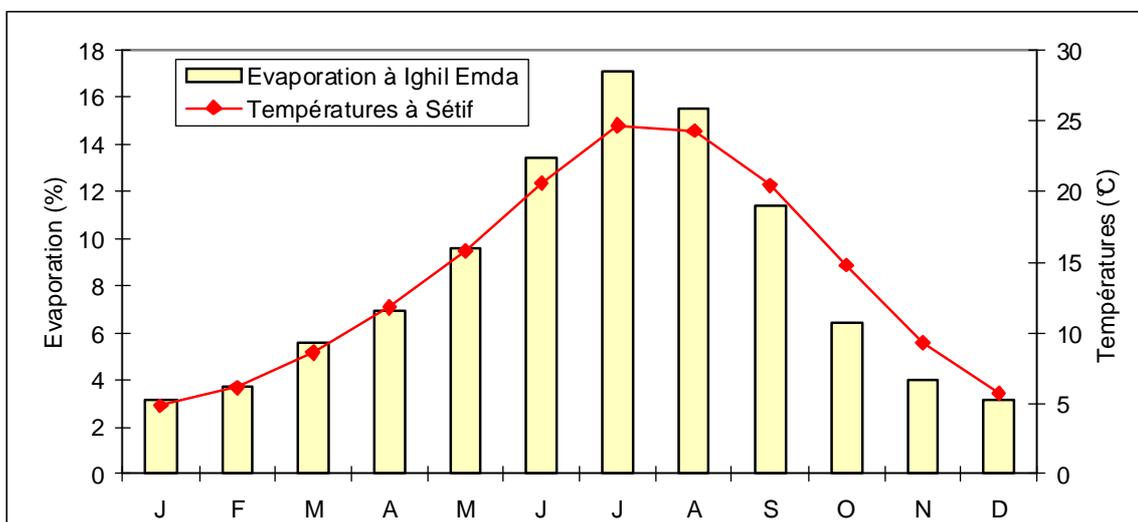


Fig. 32: Répartition mensuelle de l'évaporation au barrage d'Ighil Emda.

La répartition de l'évaporation suit fidèlement celle des températures à l'échelle mensuelle

6 SYNTHÈSE CLIMATIQUE

La synthèse climatique est faite sur la base des informations des précipitations et de températures utilisées.

6.1 La relation ombro-thermique de Gaussen et Bagnols

La relation Ombrothermique a pour objectif la détermination des deux périodes sèche et humide de l'année, le principe de la relation considère qu'un mois est sec dans le cas où les précipitations moyennes (mm) sont inférieures ou égale à deux fois la valeur de la température du même mois c'est-à-dire $P = 2T$

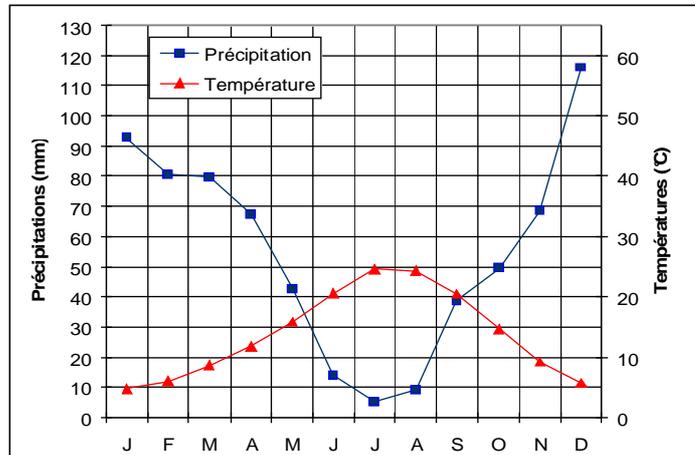


Fig. 33: Courbe Ombrothermique à la station de sétif

La lecture du diagramme Ombrothermique montre que le bassin versant du barrage d'Ighil Emda est caractérisé par deux périodes qui se succèdent, une période humide allant de la fin du mois de septembre au début de mai, les mois sec se succède du fin du mois de mai au début du mois de Septembre.

A partir du digramme Ombrothermique, il est possible de connaître la durée pendant laquelle, les formations superficielles sont soumises aux contraintes thermiques qui diminuent de la cohérence des particules solides et les rendent très détachables et par conséquent érodable.

6.2 Les Indices bioclimatiques

Les nuances du climat sont mises en relief à l'aide d'indices climatiques. Il y existe trois groupes d'indices faisant intervenir :

1. les précipitations et les températures (pluviothermique);
2. les précipitations et l'évaporation ;
3. les indices xérothermiques.

Dans les régions méditerranéennes, le quotient pluviothermique d'Emberger (1959) permet d'estimer les étages bioclimatiques selon la relation :

$$Q_2 = \frac{1000P}{\frac{(M+m)(M-m)}{2}}$$

Où P est la pluviosité moyenne annuelle en mm;

M - la moyenne des maximums du mois le plus chaud (Juillet);

m - la moyenne des minimums du mois le plus froid (Janvier);

M-m - Amplitude thermique extrême des moyennes ;

$(M+m)/2$ - températures moyenne

Beaucoup plus récentes, notamment de la carte pluviométrique ANRH (AISSANI, LABORDE et al. 1993). Ce graphique montre que l'étage bioclimatique du bassin versant de Ighil Emda est méditerranéen sub humide Frais.

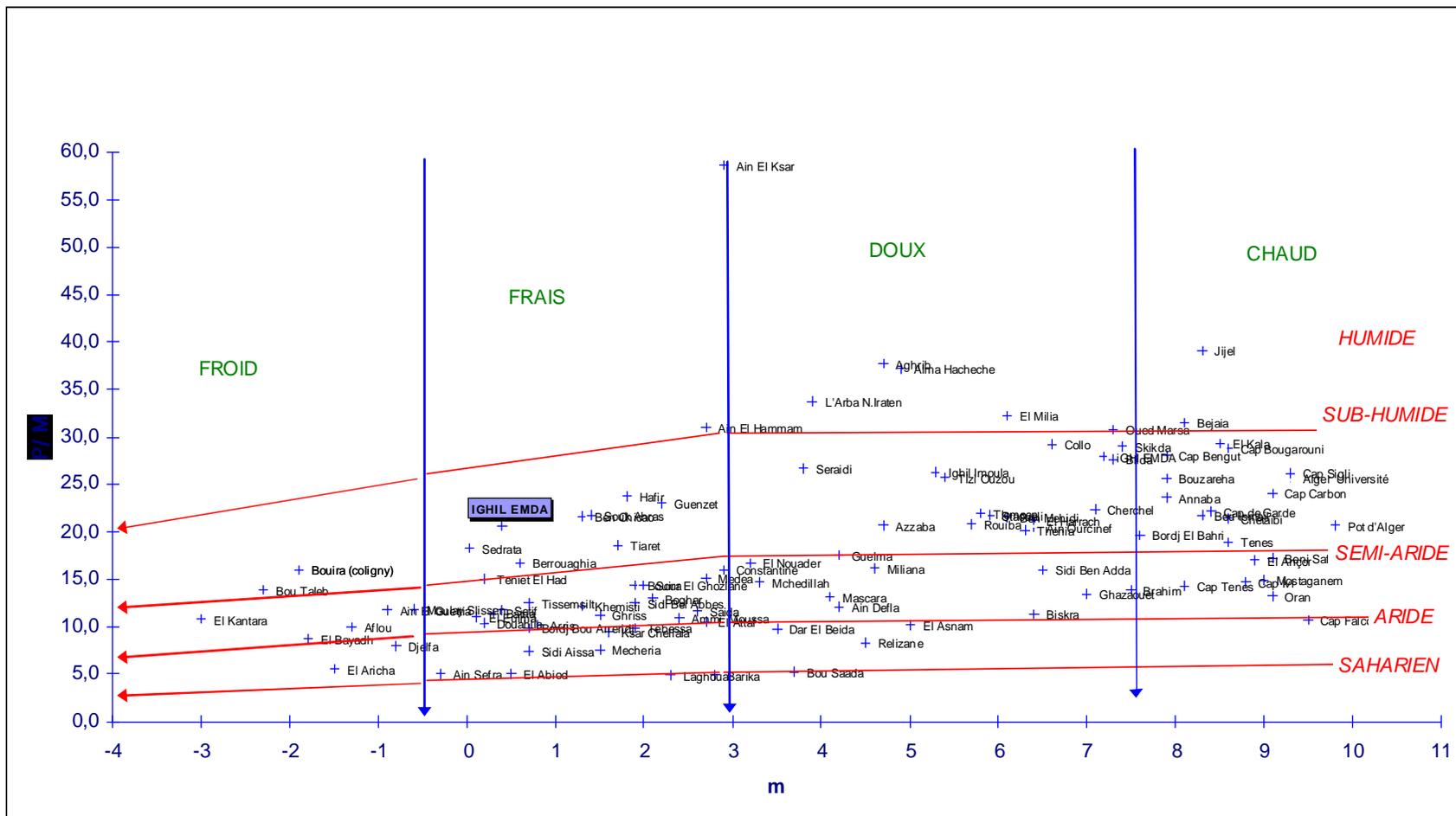


Fig. 34: Le graphique de STEWART (1969, 1974),

STEWART (1969, 1974) a simplifié cet indice et propose une relation graphique entre le rapport des précipitations moyennes (P) et températures maximales du mois le plus chaud (M) et les températures minimales du mois le plus froid (m). Le graphique de STEWART a été actualisé à l'aide d'informations

7 ANALYSE GRAPHIQUE DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

L'organisation naturelle du réseau hydrographique est à l'image de l'organisation de la partie terrestre. Sous des conditions climatiques données, la forme de terrain, la géologie et la nature des dépôts de surface sont les principaux facteurs qui conditionnent cette organisation. Le réseau hydrographique est sans doute une caractéristique la plus importante du bassin versant (André Musy, Christophe Higy), son étude revêt une importance capitale dans la compréhension et l'appréhension des phénomènes de la géodynamique externe (évolution morphogénique).

Dans ces passages nous présenterons une brève analyse visuelle du réseau hydrographique ainsi une présentation descriptive relative aux caractéristiques des réseaux hydrographiques qui servent à le décrire et qui sont exprimées par valeurs numériques (La typologie, le degré de développement du réseau, les pentes caractéristiques du réseau, les lois de composition du réseau,...).

Afin de caractériser graphiquement et visuellement le réseau hydrographique, il a été question de retracer le réseau du bassin versant à base de la carte topographique à une échelle de 1/50000, échelle adéquate pour mener ce type d'études. Des moyens informatiques (logiciels, ordinateur, scanner...) ont été exploités. Le travail consiste à scanner les cartes topographiques pour leur attribuer une référence spatiale et représenter par entités géométriques linéaires tous les cours d'eau contenus dans les limites du bassin versant. Chaque cours d'eau (talweg) a été renseigné et classifié selon la classification proposée par STRAHLER qui est la plus utilisée.

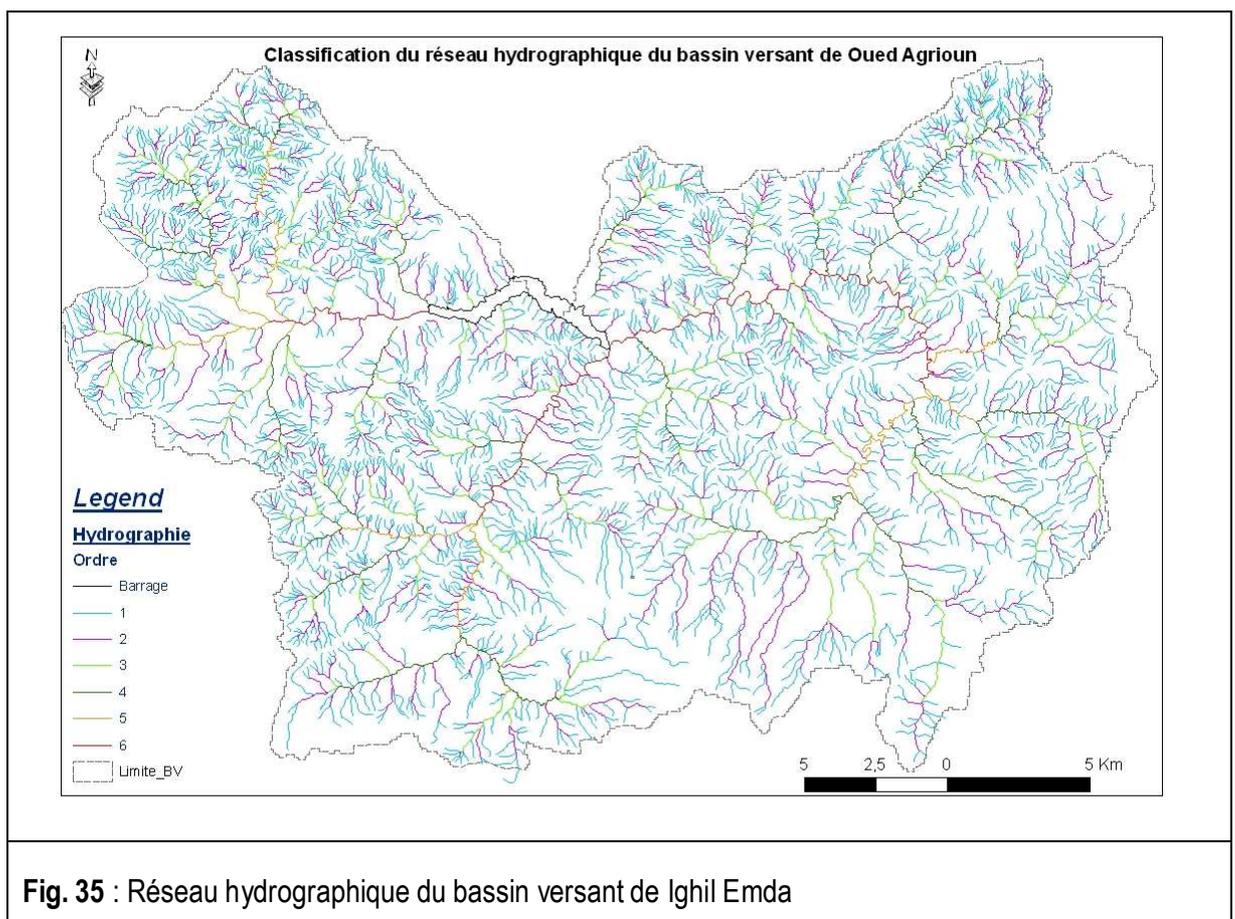


Fig. 35 : Réseau hydrographique du bassin versant de Ighil Emda

7.1 Lecture et analyse de la carte du chevelu hydrographique

La lecture de la carte du réseau hydrographique démontre que le réseau hydrographique du bassin versant est homogène. Il présente une densité et une ramification très importantes sur l'ensemble du bassin versant, dont la densité du drainage est de **3,19 km/km²**, et aussi bien à l'Ouest qu'à l'Est. Cette situation ne peut être expliquée et justifiée que par la présence et la réunion des conditions très favorables à son développement, il s'agit de conditions physiques liés à la topographie essentiellement dont la pente moyenne du des principaux oueds est de **84 m/Km**, à la géologie, la situation bioclimatique et le couvert végétal.

La superposition et l'entrecroisement cartographiques des données relatives à l'altimétrie, la géologie et l'occupation du sol renseignent que le réseau hydrographique est très développé au niveau des zones qui présentent d'une **part** :

une lithologie meuble au substrat imperméable et cela correspond en grande partie aux terrains quaternaires meubles aux substrats marneux, et aux facies marneux qui constituent l'essentiel des formations géologiques secondaires et Tertiaires du bassin versant, ces formations sont très souvent découverte à cause de l'absence total ou partielle du couvert végétal (voir analyse et carte géologique, carte d'occupation du sol);

D'autre part : des altitudes et des dénivelées importantes qui favorisent et accélèrent l'écoulement des eaux qui ruissellent.

7.2 Analyse typologique du réseau hydrographique

L'analyse typologique du réseau hydrographique est une classification descriptive des différentes formes de réseau hydrographique A.D. HOWARD (1967) et C. CAZABAT (1969) ont établi une classification de l'ensemble des réseaux hydrographiques selon leur type morphologique. À partir de cette classification, ils mettent en relation l'ensemble de ces morphotypes avec le milieu dans lequel ils s'inscrivent. Cette classification est basée sur la géométrie des cours d'eau (angles de confluence des cour d'eaux), dans sa typologie établie en 1967, A.D. HOWARD propose de classifier les réseaux hydrographiques selon plusieurs "types de base", eux-mêmes décomposés en plusieurs "types modifiés". Selon Deffontaines (B.) (1990), p 34, Les travaux de Howard (A.D.) (1967) sur la classification géométrique du réseau hydrographique sont cités comme étant remarquables, détaillés et abondamment repris.

En se basant sur la classification de Howard, nous constatons que le réseau hydrographique du bassin versant du Barrage de Ighil Emda a un caractère morphologique varié, dendritique et parallèle, le réseau dendritique marqué par sa morphologie arborescente (branches d'arbres), correspond généralement à un réseau ne subissant pas de véritable contrôle structural, et est souvent associé à un milieu d'érosion uniforme normal, par endroit on rencontre des morphologies de réseau de types parallèle, subparallèle. Cette différence morphologique et le caractère varié du réseau révèle le caractère tectoniquement actif du secteur d'étude, où des failles viennent accidenter le terrain et modifier la morphologie des cours d'eau. De manière générale, les réseaux de type parallèle se situent à proximité de faisceaux de faille.

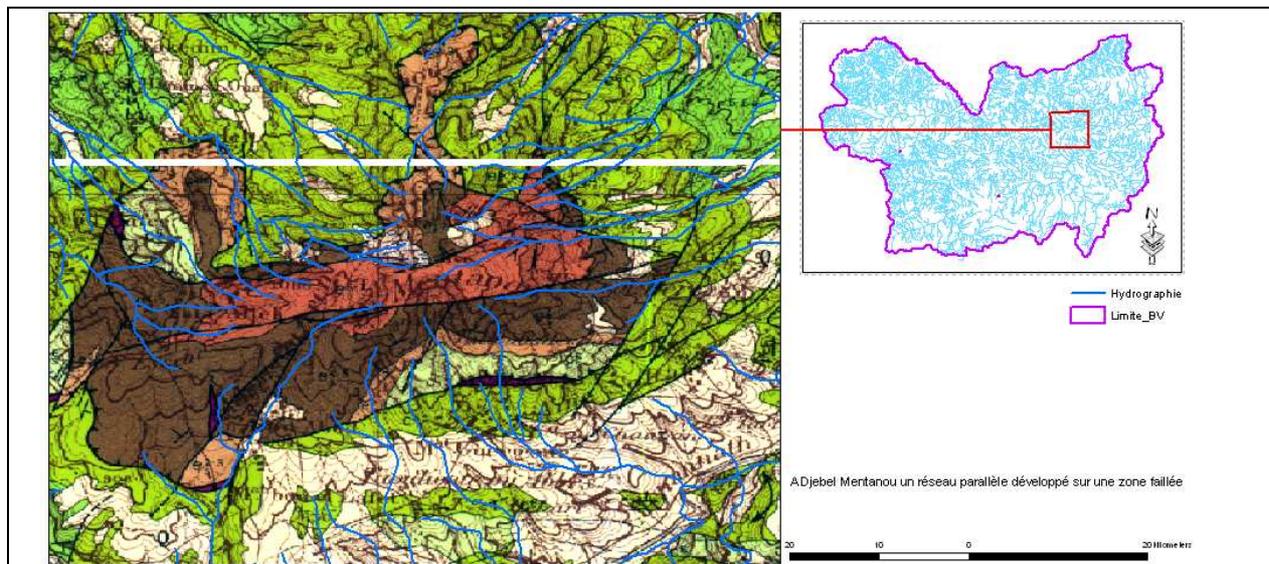


Fig. 36 : Exemple de réseau parallèle développé sur une zone faillée (Dj Mentanou)

Pour mieux caractériser et décrire le réseau hydrographique, nous avons établie des calculs géométrique en rapport avec le degré de développement du réseau, les longueurs, la classification et le temps de concentration des eaux pour l'ensemble du bassin versant du barrage de ighl Emda, également pour les quatre principaux sous bassin versant, les résultat sont résumés dans le Tab. suivant :

Tab. 22 : Caractéristiques morphométriques du réseau hydrographique du bassin versant étudié

BASSINS VERSANT				O.ELBARED	O.ETTABA	O ;MBAREK	O.TAKEBO USTE	IGHIL EMDA	
CARACTERISTIQUES		SYMBOLES	UNITES	VALEURS					OBSERV ATIONS
HYDROGRAPHIE:									
LONG. DU THALWEG PRINCIPAL		L	Km	30	17,5	21	7,5	32	
PENTE MOYENNE		lmoy	m/Km, %	20	29	35	73	84	
DENSITE DE DRAINAGE		Dd	Km/Km ²	3,19	3,39	3,97	4,03	3,47	
COEF. DE TORRENTIALITE		Ct	-	11,9	14,2	22,1	22,90	14,9	
Temps de concentration - GIANDOTTI	Tc		heures	6,84	4,89	3,45	1,78	9,29	

Conclusion du premier chapitre

Le bassin versant de Ighil Emda est marqué par la dominance du caractère montagneux dont les altitudes marquent des valeurs élevées, Le caractère accidenté et pentu de ce domaine se traduit, généralement, par les fortes dénivellations entre les bas du versant le haut. La géologie de la région est caractérisée par la prédominance des formations secondaires majoritairement calcaires, marneuses et marno-calcaires, les formations quaternaires occupent des surfaces considérables du bassin versant.

Le réseau hydrographique est très développé en termes de densité et de ramification traduisant le caractère intrinsèque fragile des reliefs vis à vis les forçages externes et un régime hydrologique turbulent.

Le climat est de type méditerranéen à hiver pluvieux et froid et un été sec et chaud, le total annuel des pluies est en moyen de 670 à 700 mm, réparties de manières irrégulières sur toute l'année, une quantité largement suffisante pour développer des cultures surtout céréalière. L'étage bioclimatique auquel appartient la zone d'étude est de type sub humid à hiver frais, il est traduit par des essences de types garigues (chêne vert), chêne zéen, cèdre, pin d'Alep, sapin de Numidie.

Les principaux types de sol qui composent les formations superficielles sont regroupés en trois classes ; (Classe des sols minéraux bruts, Classe des sols peu évolués, Classe des sols calcimagnésiques).

La végétation naturelle est limitée dans une forêt relique de Djbel Babor et quelques espaces de garigues en dégradation très avancée, les espaces boisés sont limité dans la commune de Tizi N'Bechar de la wilaya de sétif témoignant d'une opération de reboisement inachevé et échouée entamée dans les années soixante !, le reste des terrains et qui constituent 90% sont des terrain nus.

La croissance démographique galopante et les besoins d'habitats ont conduit à une densification très importante en termes d'habitats individuels ce qui est traduit par une consommation large et abusive des terrains et des mutations dans les activités de la région surtout aggravée avec les programmes d'aide de construction d'habitats.

L'étude des composantes du milieu physique nous mènera à comprendre et appréhender l'imbrication, l'emboîtement et l'enchevêtrement de ses composantes entre elles essentiellement en ce qui concerne :

- les phénomènes géomorphologiques et morphogéniques
- les réponses hydrologiques et les phénomènes qui en découlent (Erosion, Inondations, Envasement..)
- les tendances évolutives spatiotemporelles des formes géomorphologiques et éco-géomorphologique.

CHAPITRE DEUXIEME
EVOLUTION GEOMORPHOLOGIQUE ET
HYDROMORPHOLOGIQUE DU BASSIN VERSANT DU
BARRAGE DE IGHIL EMDA

INTRODUCTION

L'étude de l'évolution géomorphologique, la reconstitution de l'état de la morphologie des paysages du bassin versant et la compréhension de sa tendance évolutive nécessite logiquement un diagnostic et un examen de la situation morphologique actuelle du bassin versant étudié.

C'est pourquoi nous avons jugé indispensable, pour l'étude de l'évolution géomorphologique, de s'intéresser tout d'abord à la géomorphologie actuelle du bassin versant, un travail qui ne peut se faire que par l'exploitation de documents de base à savoir les cartes topographiques et géologiques, les images satellites complétées par les missions sur terrain.

Une carte géomorphologique détaillée est dressée et sur laquelle nous avons représenté et traduit cartographiquement tous les éléments et phénomènes géomorphologiques en suivant une démarche et une approche méthodologique qui consiste à décrire objectivement et fidèlement les formes et formations rencontrées.

Une fois la situation actuelle est caractérisée, nous aborderons les aspects relatifs à la quantification de l'érosion et au comportement hydrologique du grand bassin versant de Ighil Emda ensuite les traits de l'évolution géomorphologique durant les 50 dernières années, à ce propos, des documents diachroniques sont exploités et examinés dans le but d'exprimer qualitativement et même donner un aperçu quantitatif sur l'allure de l'évolution géomorphologique.

Ainsi que nous avons énoncé notre démarche pour l'étude de ce deuxième chapitre, le plan de travail est de cet ordre :

1 Cartographie géomorphologique

En raison de l'importance que recèle la carte géomorphologique, un nombre important de spécialistes des sciences de la terre se sont intéressés à ce document de base comparable aux cartes géologiques, c'est un document qui a suscité autant l'intérêt des chercheurs dans le domaine des sciences de la vie et des spécialistes des études techniques. Elle se propose de fournir un inventaire complet et exhaustif des données d'observation concernant le relief, en complétant et en valorisant les cartes topographiques et géologiques. La carte géomorphologique est un moyen d'expression qualitatif, dynamique et parlant par lequel nous véhiculons des messages correspondants aux milieux et phénomènes naturels, outre, elle renseigne sur les résultantes qui en découlent de l'interaction des différents éléments du milieu.

Dans notre étude de l'évolution géomorphologique, l'exploitation de la carte géomorphologique est déterminante, elle nous donnera une lecture globale de l'état du paysage morphologique actuel.

Selon les principes de la cartographie géomorphologique, les principaux et essentiels éléments à relever se réunissent en cinq types de données.

Les plus caractéristiques des données à représenter sur la carte géomorphologique sont de nature :

- **descriptives** : Elles concernent les données qui se rapportent aux reliefs, appelées les *données morphographiques* qui correspondent aux formes de reliefs et qui sont soigneusement identifiées, mises en évidence et convenablement représentées, elles sont extraites en grande partie de la carte topographique (les abrupts, les escarpements, modelés...ect)

- **Analytiques** : Elles correspondent aux données *morphométriques* se rapportant aux valeurs des dénivellations et aux pentes des reliefs, cela nous fera une idée sur leur ampleur, elles sont matérialisées par des symboles appropriés ou exprimées par des chiffres.

- **Explicatives** : les données explicatives regroupent trois types d'informations, il s'agit :

- *des données morpho-structurales* qui sont des valeurs ajoutées aux données géologiques illustrant les rapports du relief avec la structure rocheuse, précisant les éléments qui interviennent dans la configuration morphologique de point de vue lithologique et structurale.

- des *données morphogéniques* qui correspondent aux modalités et conditions de l'élaboration du relief.
- des *données morpho-chronologique* qui expriment la succession dans le temps des différentes générations de forme.

Sans se pencher sur la méthode de conception, les principes conventionnels de l'élaboration de la carte géomorphologique, en se souciant d'accorder plus d'originalité à notre travail, nous nous contenterons de mettre en avant les outils et moyens de base que nous avons employés et exploités dans toutes les étapes de développement de ce volet cartographique.

1.1 Outils, techniques et méthodologie de Cartographie

a- Outils et techniques de cartographie :

L'élaboration de la carte géomorphologique nécessite la mise en œuvre d'un certain nombre de techniques et outils de travail bien appropriés que nous énumérons comme suit :

- une couverture de cartes topographiques 1/50000 qui couvre l'intégralité du bassin versant (voir chapitre 1).
- des cartes géologiques à l'échelle de 1/50000 établies par l'ORM (sonatrach)
- des photos aériennes de l'année 1999
- des photos satellitaires auxquelles nous avons apporté des corrections et des prétraitements.

Par ailleurs, nous avons optimisé l'exploitation des outils informatiques, à cet égard, une série de logiciels de cartographie a été utilisée, nous citons le logiciel de ArcGis, Global Mapper, Mapinfo, ENVI et Blue Marble.

Sur la plan technique, nous avons, préalablement, unifié le système géodésique sous lequel tous les documents numérisés exploités ont été géo-référencés et ça dans le but de pouvoir superposer tous les documents simultanément, ce moyen nous a offert une grande flexibilité et maniabilité.

b- Méthodologie de réalisation

Le levé cartographique du secteur étudié a été réalisé en deux phases :

Une première phase : celle de la photo-interprétation sur la base des photos aérienne et images satellitaire, les principales opérations effectuées étaient les délimitations des grands ensembles morphologiques visiblement faciles à identifier, en s'aidant bien sûr des cartes topographiques et géologiques. C'est une opération consistait à identifier, toujours sur la base des photo aériennes, cartes topographiques, les principaux organes hydromorphologiques et les systèmes morphogéniques interprétables.

Une échelle graphique appropriée a été fixée pour en faire des tirages sur papier, elle a été choisie de telle sorte qu'on puisse lire aisément les objets cartographiés.

La deuxième, déterminante, elle est réalisée sur le terrain et consacré à la vérification et à la correction du levé préétablie, parallèlement nous avons cartographié toutes les nouvelles informations géomorphologiques non interprétées au bureau. Un degré de technicité est exigé dans ce type de travaux du fait de la complexité des phénomènes géomorphologiques observés et des interprétations qui il faut donner.

c- **délimitation du périmètre à cartographié.**

Pour plus d'originalité à notre étude, nous avons essayé d'affiner notre analyse et d'atteindre les objectifs attendus de ce travail, et jugé plus adéquat et plus pratique de porter l'étude de ce volet de cartographie géomorphologique sur un sous bassin versant élémentaire le plus représentatif du grand bassin versant du barrage de Ighil Emda.

Après réflexion et appréhension du terrain, notre choix a été porté sur le sous bassin versant d'Oued Atteba, c'est une unité qui présente tous les éléments géomorphologiques susceptibles de fournir des résultats et des indications représentatifs de la totalité du bassin versant du Barrage de Ighil Emda.

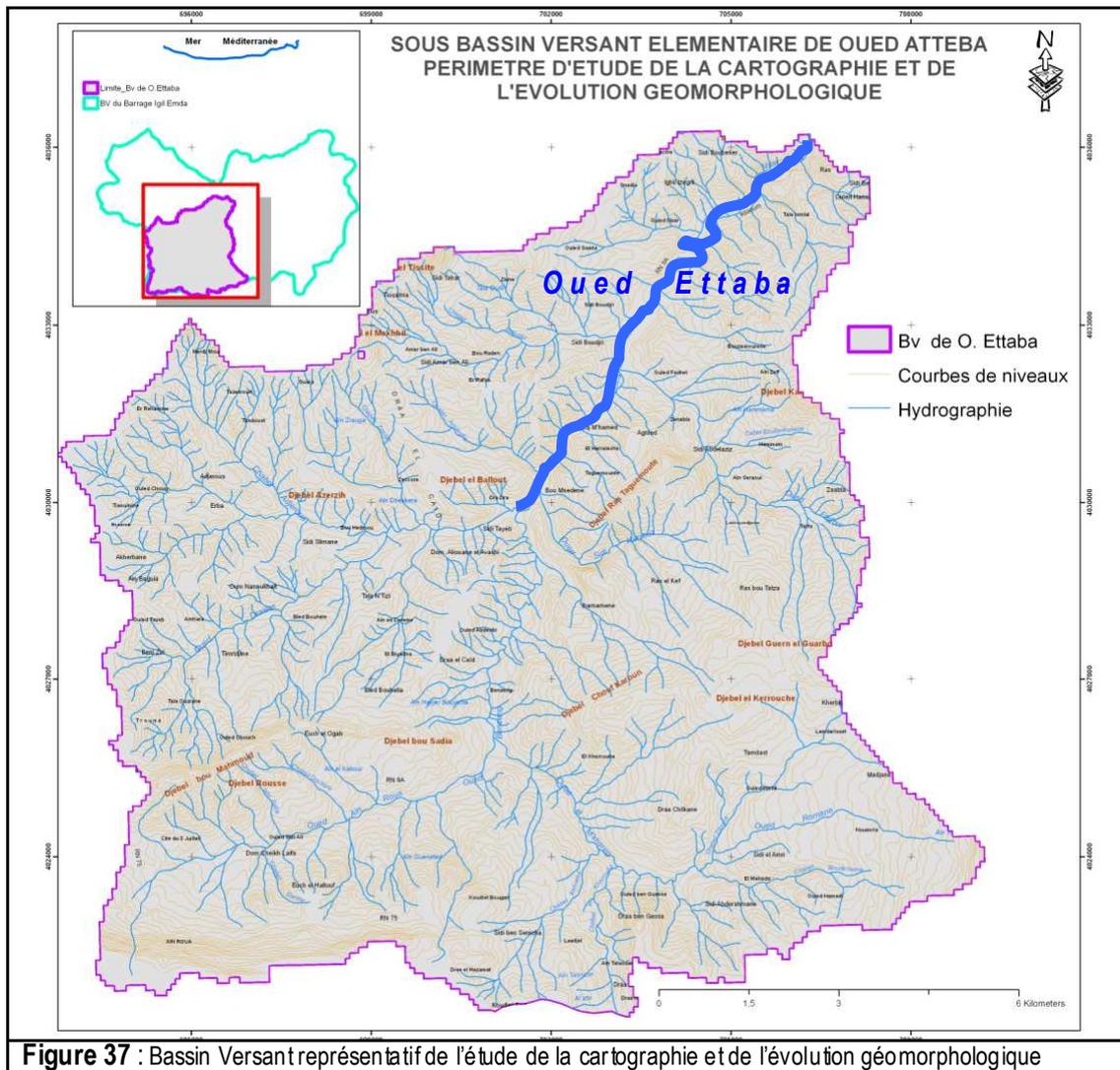


Figure 37 : Bassin Versant représentatif de l'étude de la cartographie et de l'évolution géomorphologique

1.2 **Commentaire et analyse de la carte géomorphologique**

La carte géomorphologique réalisée est accompagnée d'une notice explicative destinée, selon Roger Coque (2002) à commenter son contenu, surtout lorsque la complexité des faits à cartographier entraîne des choix motivés par le souci de la clarté de l'expression graphique.

1.2.1 Le contexte morpho-structural

Avant de procéder à l'analyse du contexte morpho structural du bassin versant que nous avons soigneusement cartographié, il sera utile de contextualiser le cadre géologique, surtout lithologique et structural auquel correspond la zone d'étude.

L'on souligne que :

Le cadre structural de la zone correspond au domaine plissé de la nappe de Djemila et de la nappe numidienne fortement faillées.

Les formes structurales sont développées dans des séries sédimentaires dont les principales formations lithologiques qui constituent l'essentiel des terrains du sous bassin versant d'Oued Etteba sont :

- les marnes qui sont dominantes, les calcaires et les flysch numidiennes
- les formations superficielles quaternaires.

En ce qui concerne les marnes très développées au Nord, au Centre, à l'Ouest et Sud Est) : elles se présentent sous quatre formes :

- les marnes noires du maestrichtien sont les plus présentes.
- les marnes noires, brunes ou grises de l'éocène moyen et supérieur d'une importance moyenne
- les marnes noires du paléocène d'une faible importance
- les marnes sombres à boules jaune du campanien supérieur de faible importance, localisées aux versants environnants de l'exutoire du sous bassin versant.

Quant aux calcaires :

Ils sont localisés en grande partie à l'Est, au nord Est (exutoire) et au sud ouest du bassin versant, ils sont constitués essentiellement de :

- calcaire massif de l'yprésien-lutétien inférieur
- calcaire marneux

1.2.1.1 Les grands ensembles morpho-structuraux.

Les formes structurales les plus notables dégagées dans des séries sédimentaires qui correspondent à la zone d'étude sont principalement et essentiellement :

- Les formes dites jurassiennes
- Les formes correspondant aux structures faillées

a- Les formes dites jurassiennes

Elles sont inscrites dans des séries sédimentaires plissées autochtones à alternance calcaires-marnes.

L'érosion différentielle, en exploitant les zones de faible résistance des séries sédimentaires, a engendré des formes d'inversion qu'on dénomme **Combe de flanc et Mont dérivé**, dans lesquels s'insèrent les limites du bassin versant étudié.

La Combe de flanc : constituée de versants structuraux à corniches qui la délimitent, ces **corniches** sont aux pendages qui varient de 15° à plus de 45° par endroit, constituées de front qu'on appelle **Crêt et un revers (photo 1)**. Par endroit où le pendage des corniches dépasse 45°, les **crêts** sont succédés par des **Barre Rocheuses (Photo 2)** surtout remarquable à **Ouled Nceur**, et **Kalaoun** que nous avons pris soin de les localiser.

Le Mont dérivé : représentés par (**Dj Kalaoun, Dj Tissit, Dj Ras Taguemout, Dj Rous et Bou Mahmoud**), cette forme tel que le souligne la (**photo3**) correspond à des culminations axiales qui interfèrent avec des anticlinaux secondaires transverses. elles sont de nature rocheuse résistante, dérivé suite au dégagement, par l'érosion différentielle, de l'enveloppe sédimentaire à alternance de roches inégalement résistantes de nature marnreuse et calcaire..



Photo 1: Crêt

Photo 2: Barre rocheuse



Photo 3: Mont dérivé Djebel Tisit

Photo 4: Charnière anticlinale

b- Les formes correspondant aux structures failées

Elles traduisent les abrupts des reliefs qu'on dénomme communément les escarpements liés à une présence de failles, ces formes structurales d'escarpement trouvent des conditions favorables à leur développement dans les séries sédimentaires à alternance de roche cohérentes et meubles disloqué par des failles.

On distingue dans la zone d'étude les **escarpements de ligne faille** localisés à douar Kalaoun au Nor Est du bassin versant (photo 5 et 6).

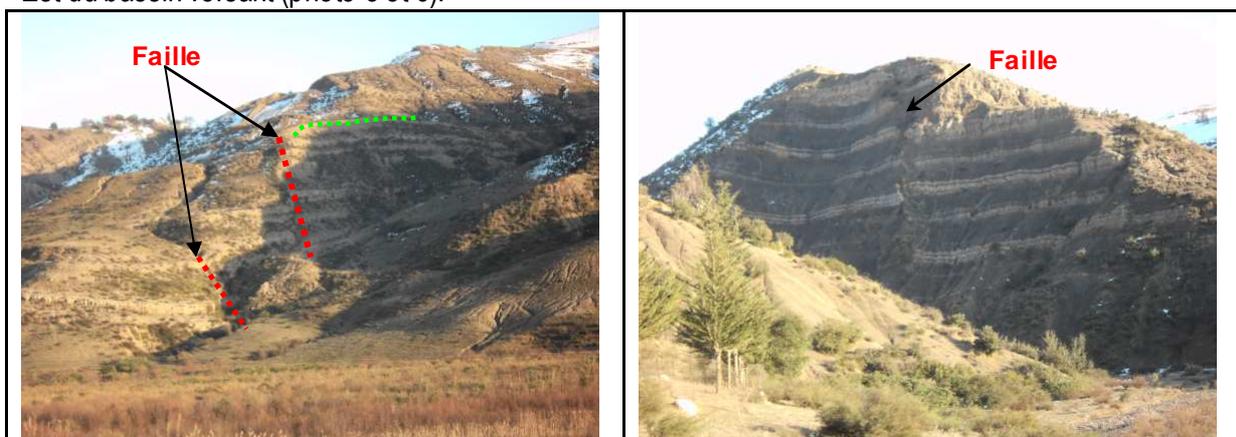


Photo 5: Escarpement de ligne de faille

Photo 6 : Faille décrochant

1.2.2 La morphologie des versants

La morphologie des versants est représentée graphiquement par des symboles conventionnels indiquant leur typologie, elle dépend étroitement de la structure géologique, la nature lithologique et la pente, nous distinguons deux types de versants :

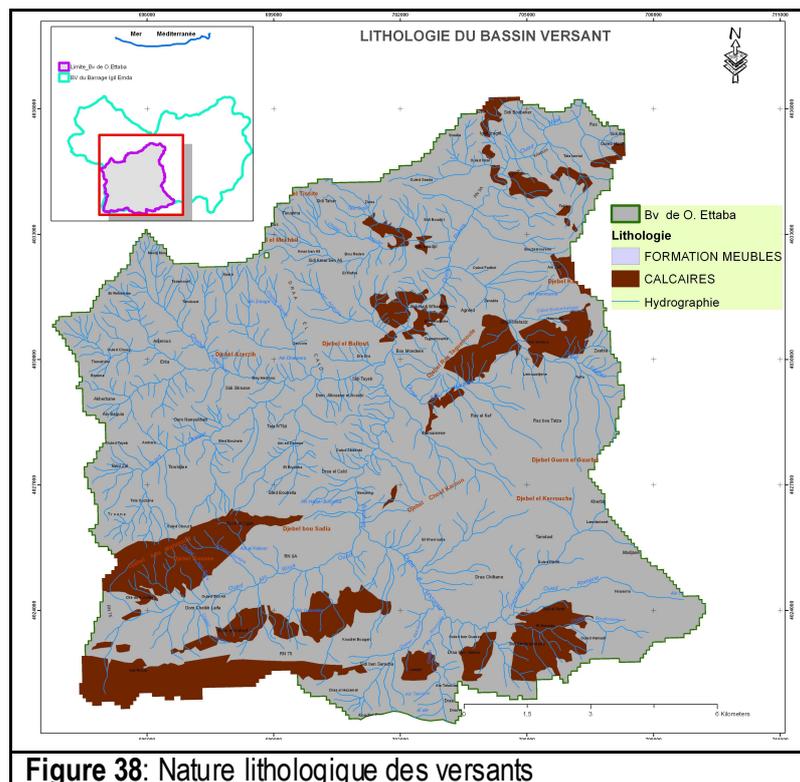


Figure 38: Nature lithologique des versants

1.2.2.1 Des versants taillés dans des séries meubles

Ce type de versants constitue l'essentiel de la zone d'étude, au centre, au nord, à l'Est, à l'Ouest et une partie du Sud Est, les versants sont taillés dans des séries de formations mameuses et argileuses et dans les flysch. La morphologie des versants qui correspond à ces formations est :

Les versants de morphologie convexe : dont les pentes augmentent de haut en bas

Les versants de morphologie concave : ils s'observent lorsque la limite sommitale du versant commence par un crêt structural de nature rocheuse résistante, les pentes diminuent de haut en bas

Les versants de morphologie uniforme : dont la pente est régulière, on rencontre ce type morphologie aux environ Sidi Boudjri.

Les versants de morphologie complexe : c'est des versants convexo-concaves, ce type de morphologie est rencontré dans des formations à alternance cohérente-meuble mais à prédominance meuble, surtout localisé dans le sud de la zone d'étude (Douar Kalaoun, Bouzaarouren, Zeaaba), il est traduit par le changement de l'allure du profil topographique. Ces versants constituent dans cas plupart la source de provenance des matériaux rocheux transportés par l'eau.

1.2.2.2 Des versants taillés dans des séries à alternance cohérente-meuble

Taillés essentiellement dans les formations calcaires du campaniens supérieur et maestrichtien, localisés dans les lieux appelés, Ouled N'ceur, Sidi Boudjeri et El Hraieche, ils sont visiblement identifiables en longeant la Route nationale secondaire 9A, ils sont aux pentes topographiques très fortes qui relèvent de la complexité de la structure géologique affectées par des failles et des **charnières anticlinales**.

Un autre type de versant est taillé dans des formations calcaires massifs d'yprésien-lutécien inférieur et des formations à alternance de marnes grises et marno-calcaires du paléocène, ces versants sont localisés à Djebel Ras Taguemoute, Djebel Kalaoun et Hamam ainsi qu'à Djebel Bou Mahmoud, les limites sommitales de ces versants sont constituées de roches calcaires massifs bitumineux de l'yprésien-lutécien inférieur.

1.2.3 La morphologie fluviale (Hydro-géomorphologie)

Les principales morphologies fluviales sont rencontrées dans plusieurs secteurs particulièrement à Oued Etteba qui draine tout le sous bassin versant. L'Oued Etteba d'ordre hydrologique 6, est tributaire de plusieurs torrents importants du bassin versant. Il s'agit principalement de deux torrents d'Ordre 5 qui se confluent à Dradra, ils sont les plus importants affluents qui drainent des impluviums de superficie considérables. Deux autres importants torrents d'ordre 4, il s'agit des oueds développés à Ouled Fadel et l'autre à Sidi Boudjeri, acheminement des quantités considérables en eaux et en charges solides.

A partir du point de confluence des deux torrents d'ordre 5 à Dradra jusqu'à l'exutoire, l'Oued Etteba peut être subdivisé selon sa morphologie en quatre parties :

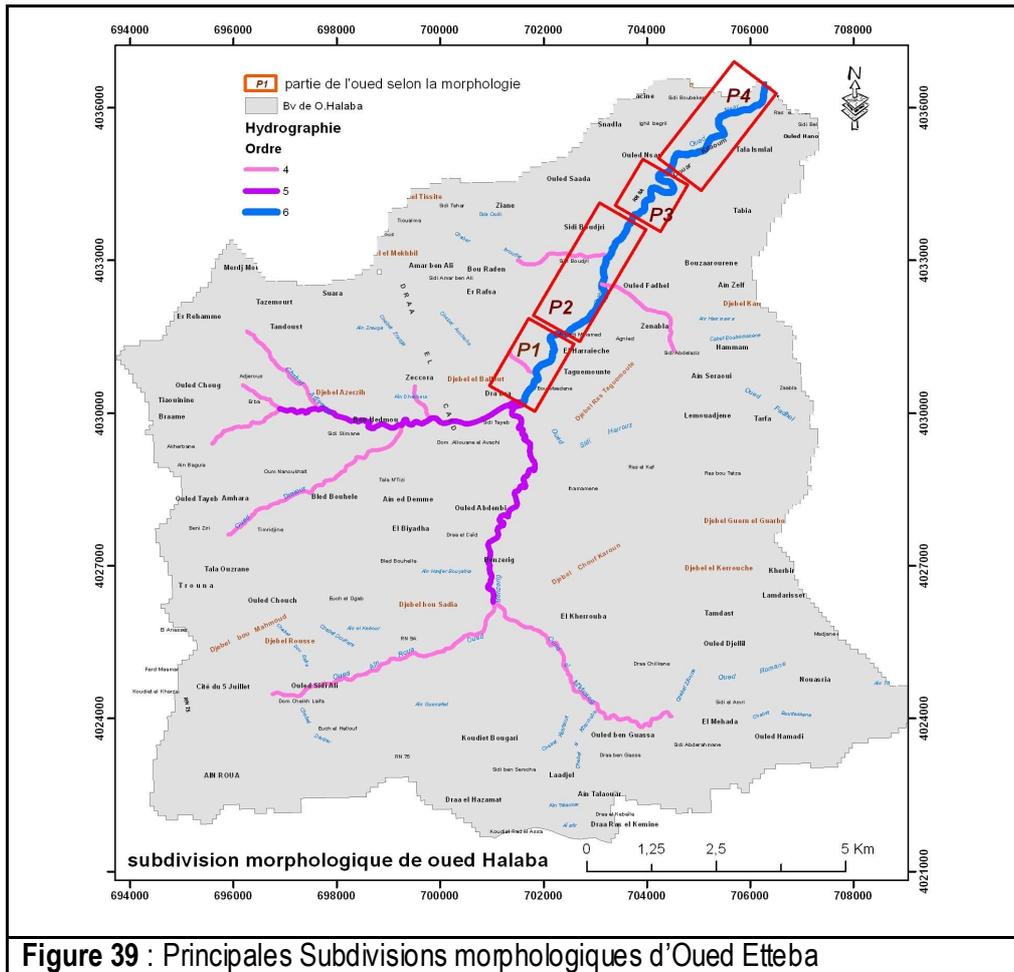


Figure 39 : Principales Subdivisions morphologiques d'Oued Etteba

La première partie l'Oued : Segment Dradra - El Hraich

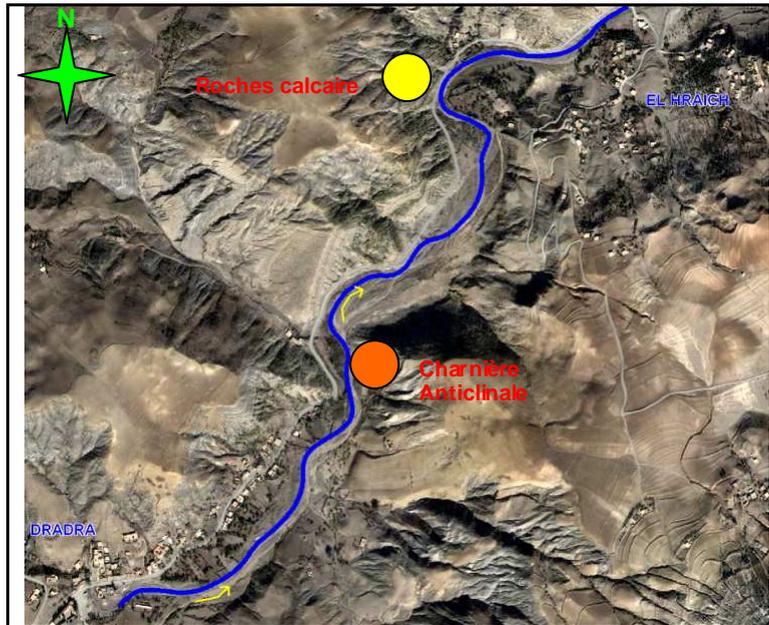


Figure 40 : première partie de Oued Etteba

Coordonnées UTM centre : $x= 701967.566$, $Y=4030943.464$

Dans cette section de l'Oued le **creusement du fond emporte le remblaiement**, d'une pente moyenne et d'une sinuosité bien remarquable qui relève de la structure géologique, l'oued est encaissé, le fil d'eau est généralement en un seul tracé linéaire mais parfois sous forme de chenaux anastomosés dû à l'élargissement du fond par endroit. Les composantes de l'oued sont facilement identifiables, sauf en contact avec les charnières anticlinale et les parois rocheuses, l'on observe un lit mineur d'étiages, un lit majeur des hautes crues et des terrasses alluviales cultivables.

Quant aux charges du fond de l'oued, on observe que le fond de l'oued est chargé en blocs rocheux de fortes calibres dont certains sont si gros qu'ils sont intenable par une personne, provenant essentiellement des faciès environnant de djebel Boumahmoud et de Ain Roua , l'usure varie en fonction de la nature de la roche, la distance parcourue et son remaniement. Un classement de charge de fond est bien remarquable, les calibres des blocs charriés diminuent d'amont en aval.

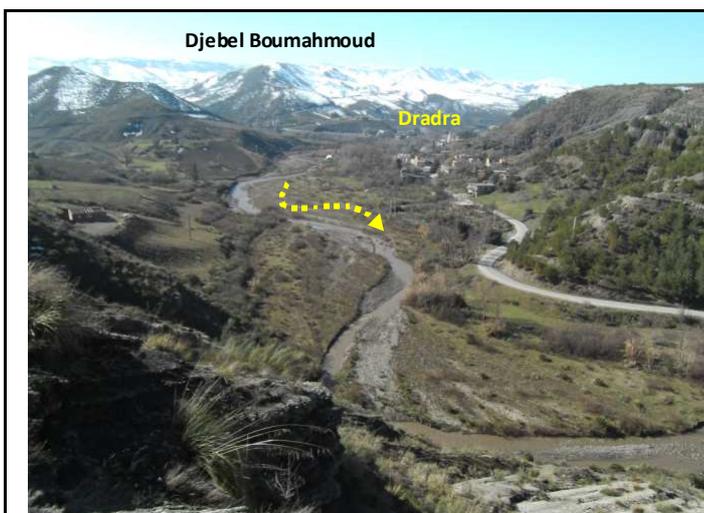


Photo 7: Fond et éléments d'oued à Dradra aval



Photo 8: Fond et éléments d'oued à Amont de El Hraich

La deuxième partie l'Oued: : Segment El Hraich - Sidi Boudjeri

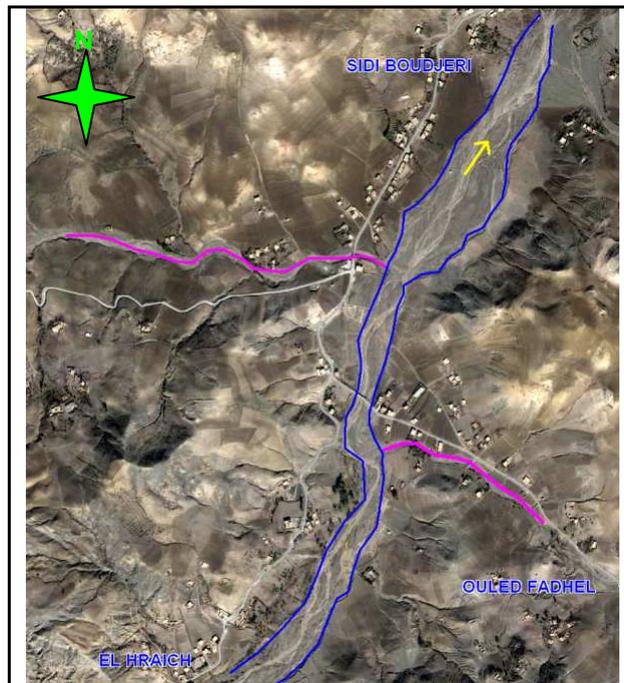


Figure 41: Deuxième partie de oued Etteba

Coordonnées UTM centre :x=702919.603 , Y=4032895.407

De El hraich à Sidi Boudjeri, l'Oued devient large, aucune formation géologique résistante n'est rencontrée le long de ce segment de l'oued, c'est pourquoi la situation était favorable à l'extension des bande active de l'oued, **dans cette section le remblaiement concourt le creusement où il l'emporte dans plusieurs endroit.** Deux importants affluents à caractère torrentiel rejoignent le cours principal en charriant d'importante charge de matériaux rocheux, mais surtout en suspension provenant des formations environnantes pour donner plus d'énergie qui permettent à l'oued de s'élargir. L'énergie de creusement de l'Oued Etteba est dissipée en raison de la section qui est large ce qu'est expliqué par son incapacité de remobiliser les gros matériaux, on assiste à des situations **d'emboîtement** et des **dépôts en mosaïque, composé de sables grossier, galets, bloc de faibles, moyens à grands calibres,** et des chenaux anastomosés. Le changement incessant du tracé des files d'eau rend difficile l'identification des composantes de l'oued. Cependant les limites des **terrasses alluviales évoluées** sont visiblement identifiables. L'on souligne que ce segment abrite une végétation selon les compositions sédimentaires.



Photo 9: Fond et éléments d'oued juste à l'aval d'Elhraich

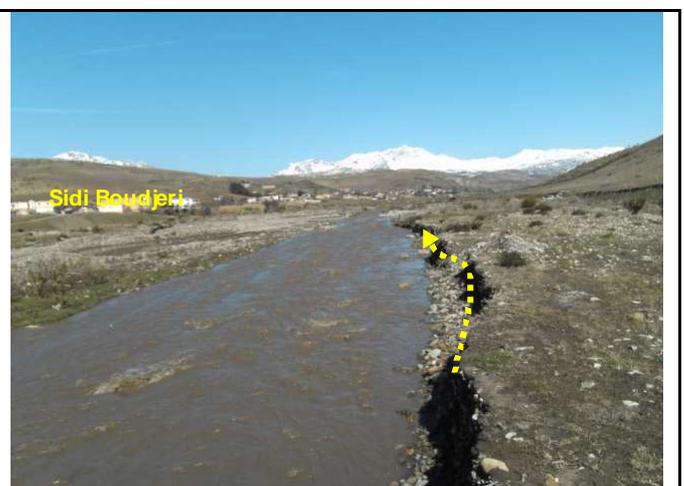
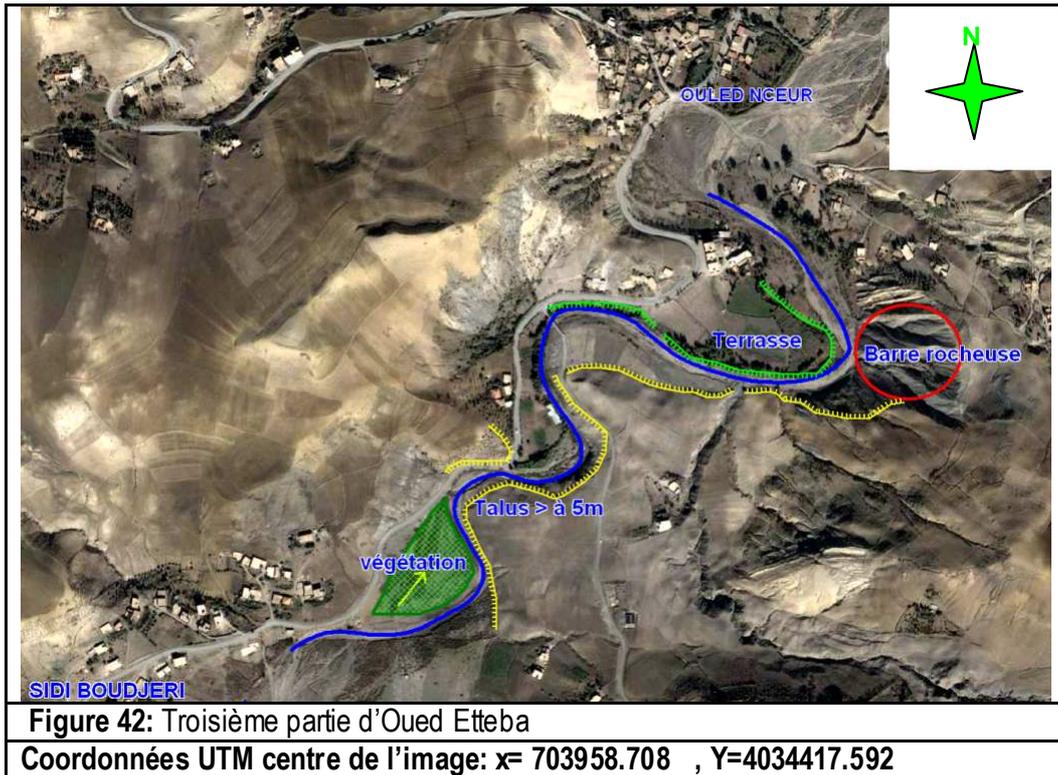


Photo 10: Fond et éléments d'oued juste à l'amont de Sidi Bjr

La Troisième partie de l'Oued : Segment El Hraich - Sidi Boudjeri



L'oued s'encaisse entre deux versant opposé pour une deuxième fois et la pente du fond augmente légèrement, cette exigüité de la section est expliquée par le fait que la berge droite est confronté à des talus naturels de formation quaternaire dont le commandement est trop fort et dépassant 4 mètre, la berge Gauche à son tour est confronté à un pied de versant ce qui empêche l'élargissement de la section.

Au niveau de ce segment de l'oued, l'érosion est la plus importante à l'échelle de tout le bassin versant, l'encaissement de l'oued en a fait un fil d'eau concentré torrentiel en exerçant un sapement des talus de formations argileuses, des gros matériaux en vrac sont charriés mais ces matériaux constituent dans l'essentiel des anciens dépôts qu'on remobilise et un remaniement des apports littéraux . Les eaux de débordement ont donné naissance à des végétations hydrophiles et des peuplements de lauriers roses.



Photo 11: Fond et éléments d'oued à 350 m amont de ouled n'seur



Photo 12: Fond et éléments d'oued à 200 m amont de ouled n'seur

Quatrième partie l'Oued : Segment Ouled N'ceur - l'Exutoire

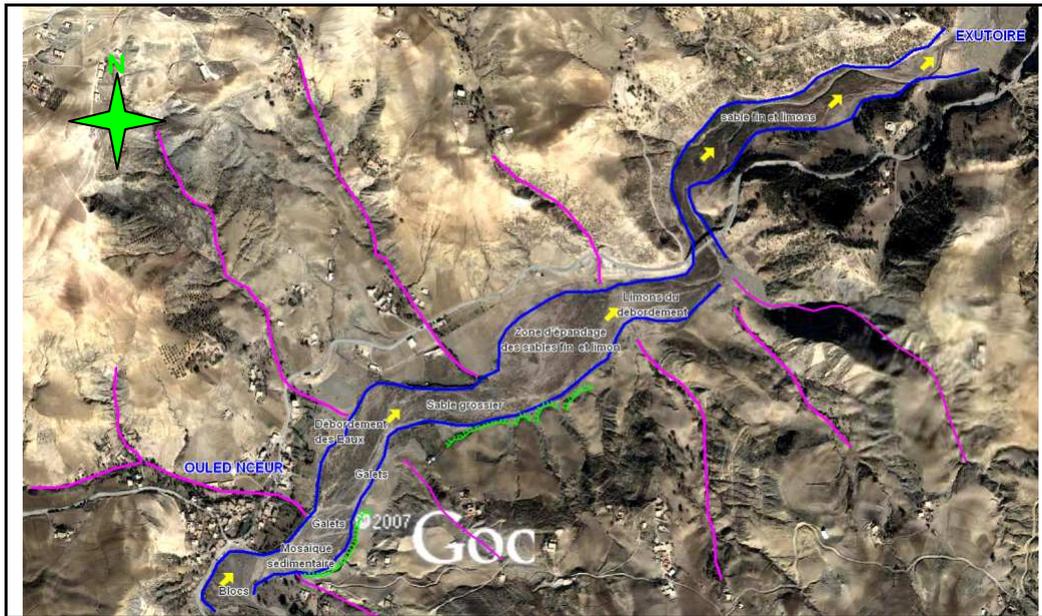


Figure 43: quatrième partie de Oued Etteba

Coordonnées UTM centre de l'image : x= 705082.739, Y= 4035444.206

Le quatrième segment de l'Oued est sa partie inférieure, allant de la localité de Ouled Nceur jusqu'à l'exutoire, dans cette partie, la section mouillée de l'oued devient large oscillant entre 50m à 200m par endroit. L'adoucissement de la pente du fond et la poussé d'une végétation riveraine ont fait dissiper et rompre l'énergie de l'oued en rendant difficile l'évacuation des matériaux charriés en créant des situations **d'emboîtement morphologique**.

La partie supérieure du segment, sur 300m, est marquée par une mosaïque sédimentaire dont les éléments grossiers charriés (galets) sont hétérométriques, dont les calibres varient de 5 à 10 cm, et des chenaux anastomosés car le fil d'eau change constamment de direction à chaque haute crue en isolant des bancs de sédiment et en créant des bras.

Au delà des première 300 mètre vers l'aval, on assiste à des dépôts fins qui s'organisent longitudinalement par ordre granulométrique jusqu'à l'exutoire, il s'agit de Sable grossier, sables fins, Argiles, limon et vase.

Dans cette partie de OuedEtteba, la **profondeur** du fond est presque nulle, l'écoulement laminaire des eaux affleure les terres arables, les éléments de l'oued (lit mineur, lit majeur) sont indéterminable et les terrasses alluviales sont remblayées et substituées par des alluvions récents . Des apports solides latéraux importants arrivent des versants environnant à ce segment d'Oued Etteba ce qui compliquent et induisent des erreurs de l'analyse sédimentologique.

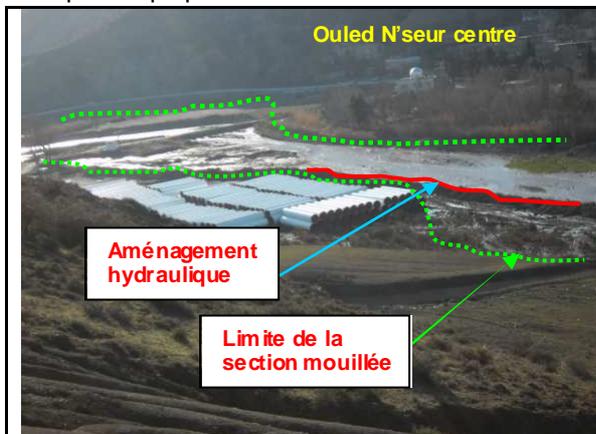


Photo 13 : Divagation des apports de l'oued



Photo 14: inondation du fond d'oued,

1.2.4 Formes d'accumulation et zones d'épandage

Les zones d'épandage caractérisent principalement les pieds des versants, tant au sud qu'au nord, tous les matériaux érodés, charriés et transférés par les torrents débouchent au bas des versants, une fois la pente s'adoucit, les matériaux sont épandus en donnant naissance aux formes qu'on assimile à des entonnoirs et aux quelles on attribut le nom de Cône de déjection. L'absence de granoclassement, l'hétérogénéité de matériaux charriés et leur caractère anguleux en témoignent de :

- Régime torrentiel de l'écoulement
- Erodabilité des terrains
- Distance courte parcourue

Toutes les zones d'épandage et formes d'accumulation ont fait l'objet d'un recensement et une représentation cartographique, nous présenterons ci après l'essentielle d'entre elles que nous avons qualifié de plus distinctif. Il s'agit d'exemples parmi nombreux cônes de déjection les plus visiblement repérable sur les images aériennes.

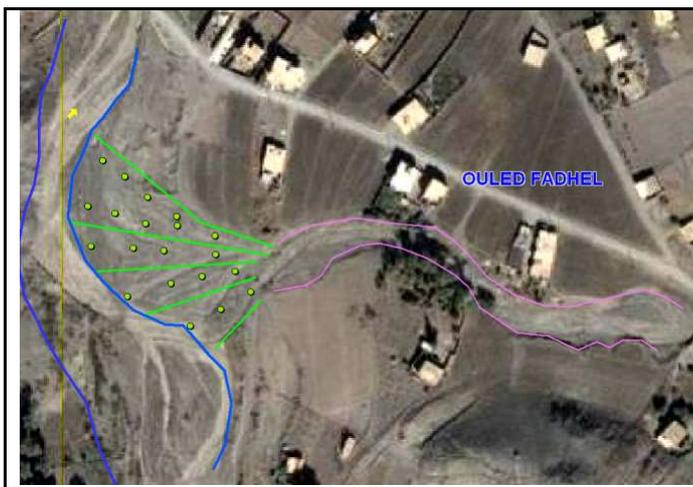


Figure 44 : Formations de cône de déjection
Coordonnées UTM : x=703065.616 , y=4032538.027

Photo 15: Matériaux du cone de déjection de ouled fadhel



Figure 45 : Épandage de cône de déjection
Coordonnées UTM : x=703630.879 y=4033774.380

Photo 16: Profil transversal du cône de déjection de Bouherou

1.2.5 Les principales formes d'érosion (Typologie)

1.2.5.1 Formes d'érosion linéaire (ravins) :

Les formes d'érosion linéaire sont les plus caractéristiques et les plus spectaculaires dans le bassin versant, ici dans ce bassin versant le **ravinement** ne suffit pas de le citer mais il vaut plutôt mieux le crier chaque jour et à chaque occasion. Atteignant des profondeurs allant de quelques

centimètres (**rigoles**) jusque à plus de 5 mètre par endroit (**Ravins en V**), ces formes linéaires sont aménagées au dépend des formations meubles du quaternaire, développées sur des marnes imperméables, au couvert végétale inexistant. Nous présenterons ci-dessous des images qui s'expriment manifestement d'elles même un état de **ravinement généralisé** et des **versants désertifiés et défigurés** en **stade d'irréversibilité** traduit par des **Bad land** ainsi des **versants agonisant gangrenés et rongés** par les eaux de ruissèlement.



Figure 46: Ravinement généralisé

Coordonnées UTM centre de l'image : X=704893.031, Y=4032139.769

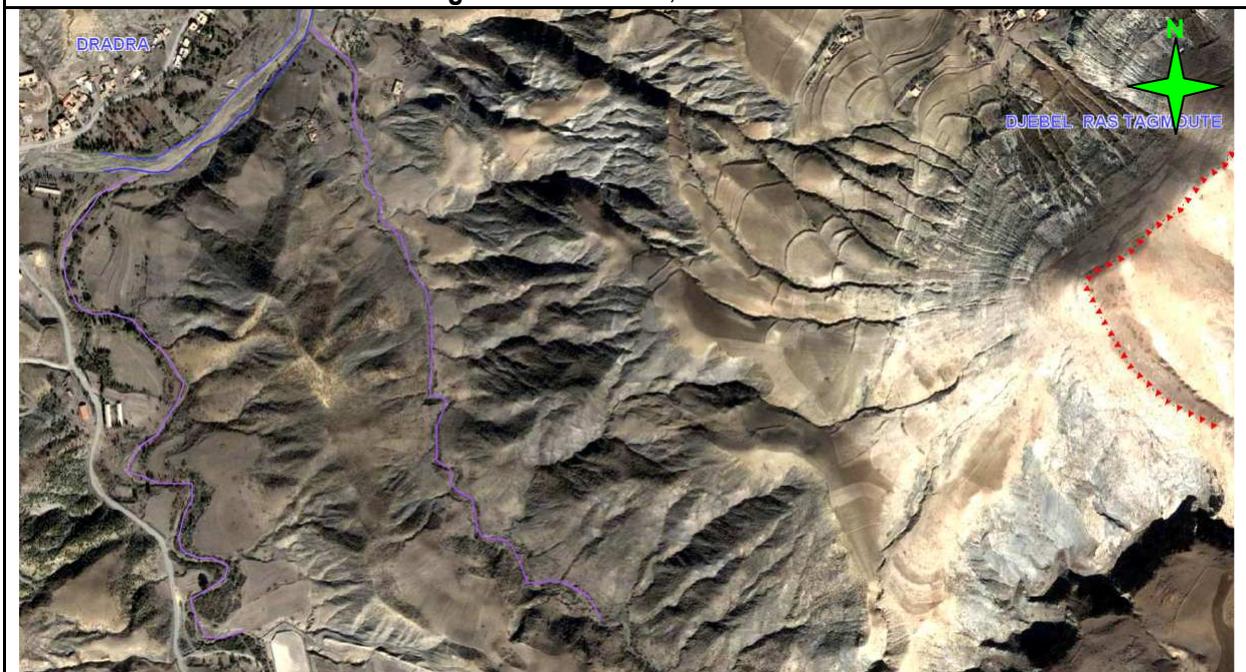


Figure 47: Bad Land

Coordonnées UTM centre de l'image : X=702229.085 Y=4029959.065

1.2.5.2 Les formes d'érosion en masse (Glissements)

Ces formes ponctuelles sont représentées essentiellement par les glissements lents traduits par des ondulations des masses de terres, la solifluxion matérialisée par des niches d'arrachement.

Les versants à exposition Nord faiblement ensoleillés sont les plus vulnérables à l'alea de Glissement, il s'ajoute à ça la nature argileuse de la couverture pédologique et le substrat imperméable. Dans le même contexte certains déplacements en masse sont étroitement liés au plan de stratification structurale à pendage dépassant 15° où une masse de terre déplace parallèlement au substrat rocheux imperméable, un autre type de glissement lié étroitement à l'excavation et à l'appel au vide qui fait décoller des masses importantes de terre puis remobiliser par les courants d'oued. Les exemples sont nombreux, on se limite dans les plus distinctifs.



Figure 48 : Mouvements de masse

Coordonnées UTM centre image : X=704241.797, Y= 4034030.145



Photo 17: Glissement (Masse Amont en mouvement)



Photo 18: Solifluxion

1.2.5.3 Formes d'érosion par gravité (formes colluviales)

Les formes d'érosion par gravité ou éboulis de pentes concernent toutes les formes qui évoluent au pied des versants de courte longueur topographique et eaux pentes fortes à prédominance calcaire ou à alternance marno-calcaire, où l'action des eaux de ruissèlement ne s'opère pas et n'exerce aucune activité mais c'est plutôt les eaux interstitielles et d'infiltration circulant à travers les

fissures et les diaclases et qui provoquent les phénomènes de météorisation mécanique par le Gel et Dégel.

Les formes d'éboulis de pentes ont été identifiées et cartographiées, les plus distinctives sont illustrées par la figure suivante :



Figure 49 : Eboulis de pente

Coordonnées UTM centre image : X=701680.656 Y=4031035.211

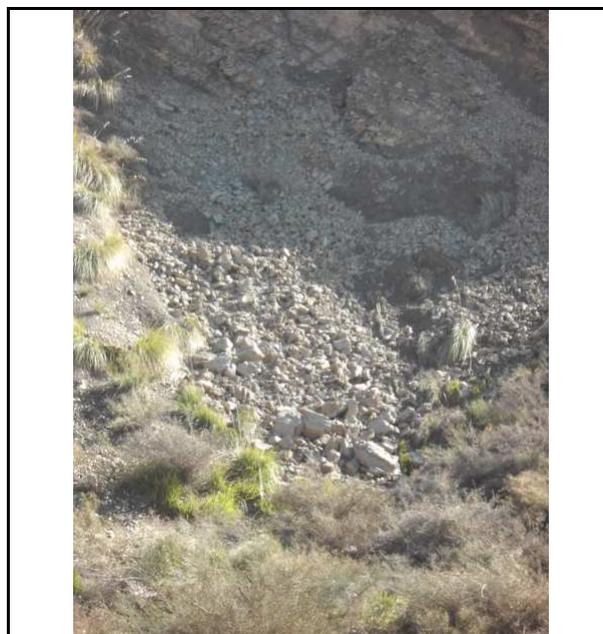


Photo 19: Eboulis de pente

1.2.6 les principaux processus d'érosion (Morphogénèse)

Les principaux processus d'érosion qui concourent à la morphogénèse et la dégradation des versants sont dans l'ordre suivant :

1.2.6.1 L'Érosion hydrique

L'érosion hydrique elle s'exprime sur les pentes aux formations meubles et imperméables, le ruissellement naît lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration du sol (**Théorie de Horton (1945)**). Sur les pentes faibles c'est l'érosion en nappe qui s'exprime, le signe le plus connu est donc la présence de **plages de couleur claire** aux endroits les plus **décapés**, en cas de pente moyenne à forte, le ruissellement tend à s'accumuler et à s'organiser lorsque la longueur de pente augmente. Si le débit de pointe augmente, on observe l'entaille de la surface du sol (formation meubles) et la formation des **griffes** qui se développent en **rigoles** puis **ravines**, **ravineaux** et **grands ravins**. Dans le bassin versant étudié les quantités de pluies tombent abondamment en saison hivernale froide en favorisant l'action de ruissellements en nappe et concentré qui s'expriment dans les versants par (zone décapée, griffes, rigoles, ravine et ravin).

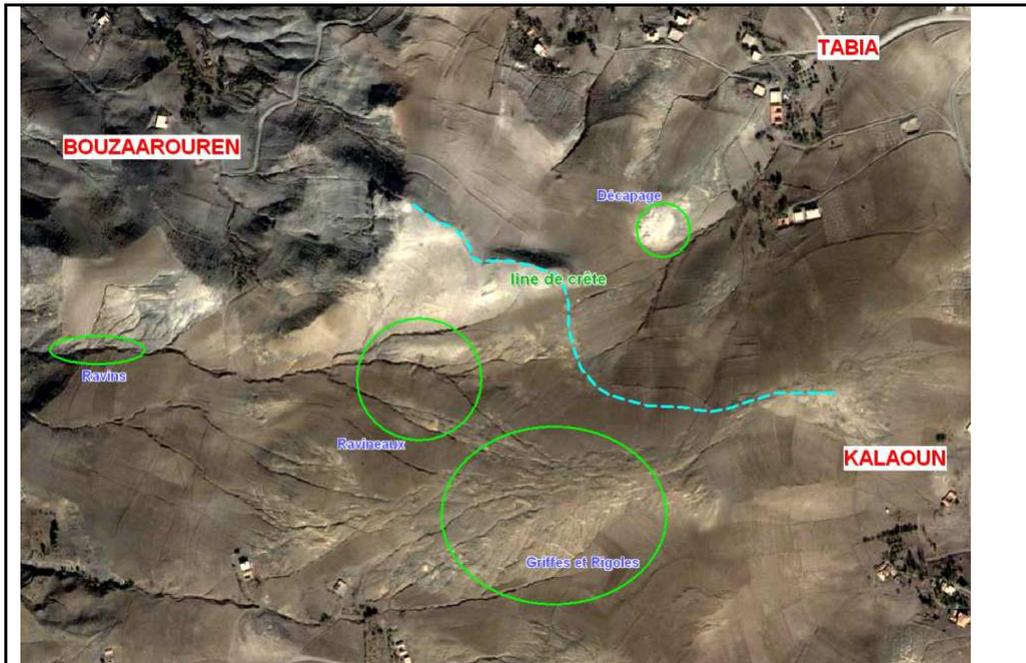


Figure 50: Erosion hydrique

coordonnées UTM centre image : X= 705755.113, Y=4033255.105



Photo 20: Sapement des Berges



Photo 21: Sapement et Appel au vide

1.2.6.2 Érosion mécanique

L'érosion mécanique est une phase de préparation des détritiques de roches, C'est un processus de météorisation qui se fait sans l'intervention directe de l'eau et qui consiste à attaquer et réduire les roches en fragments, ce processus s'exprime sur les surfaces rocheuses particulièrement calcaires mais aussi il fragilise la structure des sols par le phénomène du Gel et du Dégel.

Le **Gel** et le **Dégel** sont des phénomènes **régionaux continus** dans l'espace les plus marquants de la région d'étude surtout en hiver où les fortes chutes de température nocturne provoquent le gel des eaux des interstices des roches en augmentant leurs volumes et produisant des cassures et des fragmentations.

Les fragments et les débris de roches issues du phénomène de Gel et de Dégel seront mobilisés par les eaux de ruissellement puis acheminés vers des zones d'accumulation.

1.2.7 Les formations superficielles

Il s'ajoute aux valeurs pédologiques, que nous indiquons les formations superficielles, une valeur chronologique par laquelle on peut retracer l'histoire des fluctuations climatiques caractérisées par des phases pédogéniques et d'autres morphogéniques.

Les formations superficielles étaient délimitées et cartographiées par l'affectation des trames de couleurs conventionnelles.

Suivant les unités morphologiques, nous avons subdivisé les formations superficielles en trois classes distinctes/

a- les formations superficielles des plateaux

Elles sont de faible extension spatiale en raison du caractère montagneux de la zone d'étude, ces formations sont développées sur des plateaux à pente très faible, l'épaisseur des formations est forte et le profil pédologique est très développé.

b- les formations superficielles de pente (colluvion)

Elles sont développées sur des versants en pente, ces formations sont très épaisses à la base et s'amincissent en montant vers le sommet. Des indicateurs morphogéniques, visiblement claires, peuvent être observés dans le profil vertical de ces formations sous forme de lentille de graviers et galets en témoignant d'une phase morphogénique.

c- Les formations superficielles alluviales

Très restreintes dans l'espace et caractérisent les terrasses de l'oued, évoluées sur des pentes faibles et souvent riches en éléments organiques et chimiques, elles présentent des profils pédologiques complets.



Photo 22: FS du plateau



Photo 23: FS de pente



Photo 24: FS alluviale de terrasses évoluées

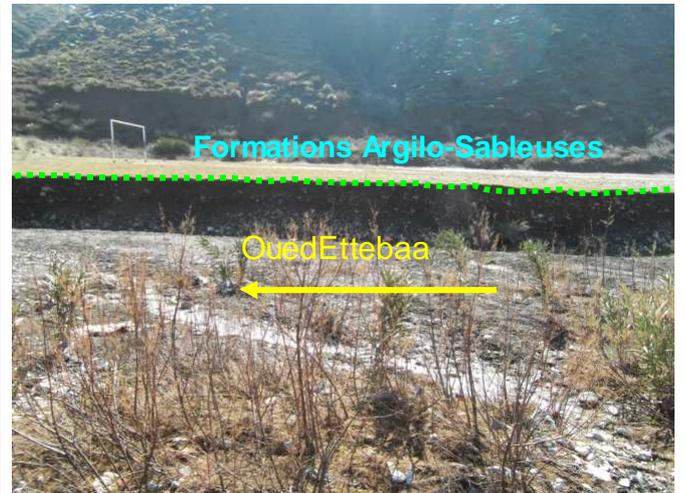


Photo 25: FS alluviale de terrasses peu évoluées

1.2.8 l'héritage géomorphologique

Les héritages géomorphologique quaternaires sont des indicateurs chronologiques morpho climatiques qui traduisent fidèlement une situation climatique correspondant aux conditions de leur mise en place.

Les terrasses fluviales

Les terrasses identifiées sont présentées à titre indicatif et elles ne font pas objet de datation car ce n'est pas notre propos dans cette étude, identifiables dans certaine section des oueds, restreintes et exigües dans l'espace étudié, certaines d'entre elles sont bien évoluées où on distingue un profil pédologique complet, d'autre sont peu évoluées où on distingue un ou deux niveau.

Dans le sous bassin versant de Oued Etteba, les terrasses sont localisées le long du Oued, à l'amont, on distingue précisément à Dradra, deux niveau de terrasses évoluées et en situation d'emboîtement sur la rive droite traduisant une situation morpho-écologique stable où la pédogénèse emporte sur la morphogénèse. En allant vers l'aval, le niveau 1 des terrasses tend à disparaître.

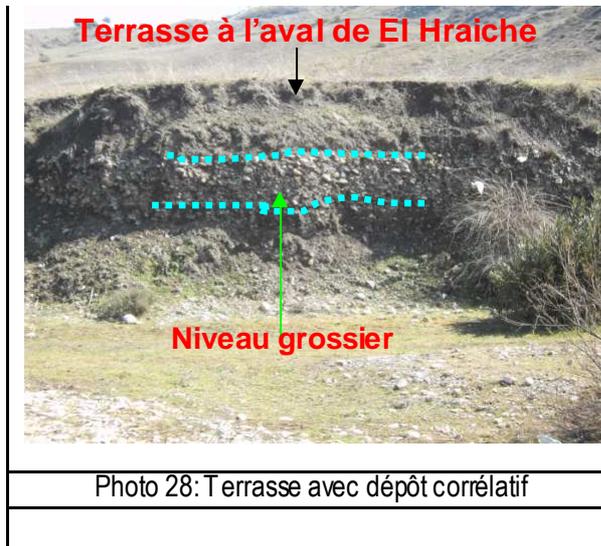
Par endroit, nous avons pu distinguer une terrasse alluviale où deux niveaux évolués de fortes épaisseurs sont séparés par un dépôt alluviale constitués de galets et graviers cette situation morpho-pédologique enregistre une phase d'interruption de la pédogénèse par une crise morphogénique érosive .



Photo 26: Deux terrasses évoluées emboîtées « Dradra amont »



Photo 27: Une Terrasse peu évoluée « Dradra amon »



2 HYDROLOGIE DES OUEDS DU BASSIN VERSANT DU BARRAGE D'IGHIL EMDA

Introduction

Après avoir étudié et présenté le cadre physique et biogéographique du bassin versant ainsi l'organisation spatiale des phénomènes géomorphologiques et morphogéniques qui le caractérisent, nous aborderons dans le présent élément du chapitre deux, l'aspect relatif au mode d'action des facteurs étudiés précédemment (Facteur physiques et climatiques) entre eux. Nous essayons **d'exprimer quantitativement** la transformation des pluies en écoulement (débit liquide), et le transfert des sédiments érodés (matériau) par l'énergie pluviale et le ruissèlement (débit solide).

Les processus d'écoulement, d'érosion et de transfert de sédiments traduisent manifestement une évolution des formes géomorphologiques du bassin versant en amont (système fluvial) *zone de production* de matières et en aval (hydro-système) la zone de stockage où dominent les formes d'accumulations sédimentaires..

Dans le bassin versant de Ighil Emda, la pluie est l'agent morphogéniques principal, son action érosive peut être traduite par différents aspects, elle peut être traduite par l'importance des apports annuels en eau des oueds, elle peut ainsi être traduite par l'abondance des débits solides.

Sur le plan hydro-géomorphologique l'évolution est traduite dans les sections des oueds qui subissent soit une rétraction des bandes (berges) actives où un élargissement de ces dernières.

- 1) La rétraction des bandes actives c'est-à-dire une situation d'étagement qui est due à l'incision longitudinale du lit d'oued et qui traduit un faible transfert de matières solides (tarissement des sources sédimentaires) et une situation morphogénique stable.
- 2) Contrairement à la rétraction, l'élargissement des bandes actives et l'exhaussement des lits d'oueds traduisent une situation d'emboîtement qui est due à l'abondance des sources sédimentaires et la non évacuation des matériaux.

Pourquoi l'étude hydrologique :

En étudiant l'hydrologie des oueds, on pourra se faire une idée qualitative et quantitative du degré d'évolution morphologique spatiotemporelle au niveau des zones d'accumulation en aval et au

niveau des zones de production de la matière en amont du bassin versant. C'est pourquoi nous nous sommes intéressés à l'étude de ces aspects.

Objectifs spécifiques

Les résultats des calculs hydrologiques obtenus vont soutenir et enrichir notre analyse qualitative basée sur l'observation visuelle des phénomènes géomorphologiques étudiés.

Nous allons, par études corrélatives, faire un recoupement entre les résultats des calculs hydrologiques obtenus et les analyses diachroniques de documents cartographiques (photo aériennes), l'objectif est de faire ressortir un **rapport de liaison** spatiotemporelle entre les débits liquides, solides et l'évolution spatiale des fonds d'oueds et ses bandes actives.

Méthodologie adoptée

Avant d'aborder cette analyse, il est important au préalable de faire savoir qu'il est difficile de cerner les éléments et les paramètres pris en compte pour l'étude hydrologique du bassin versant et ses quatre sous bassins, car leurs débits n'ont pas fait l'objet de mesures hydrométriques. On ne peut prétendre actuellement fournir des résultats précis, mais simplement proposer des ordres de grandeur.

A l'échelle du bassin versant du Barrage de Ighil Emda, il en existe une seule station hydrométrique implantée à l'aval du barrage c'est-à-dire à la confluence des trois affluents de oued Agrioun (O.El Bared, O. Em Berek et O. Ettaba), La station hydrométrique en service depuis 1923, constitue la principale source d'information pour l'étude de l'évolution des crues du bassin versant. Depuis la construction du barrage en 1949 les données fournies par cette station ne concernent que le total des apports liquides.

. Les mesures obtenues au niveau de cette station sont le cumul des apports des quatre oueds affluents dont les valeurs des apports de chacun des affluents est inconnues.

Notre souhait, dans cette étude, est d'avoir des données hydrométriques pour chacun des quatre affluents et connaître la contribution de chacun dans le remplissage du barrage, cependant, en l'absence de moyens de mesure nous allons recourir aux calculs par application de formules et relations empiriques et par méthodes analogiques.

Procédures de Calage des résultats

Les procédures sont énumérées comme suite :

- 1) Etude statistique des données expérimentales des apports liquides et solides à l'aval du barrage d'Ighil Emad (Confluence des trois oueds)
- 2) appliquer plusieurs formules empiriques de calcul des débits liquides et solides pour chacun des affluents (Trois oueds)
- 3) Effectuer le cumul des valeurs (résultat de calcul) obtenues de chaque formule pour les trois oueds
- 4) Faire une comparaison entre le cumul des valeurs calculées et les données expérimentales de la station hydrométrique implantée à la confluence des trois oueds.
- 5) Retenir où adopter une formule de calcul appliquée dont les valeurs des débits, liquides et solides, calculées se rapprochent des données de mesures expérimentales
- 6) Une fois le choix de la formule est fait, nous aurons possibilité de faire une reconstitution des débits (liquide et solides) pour une période donnée.

2.1 Étude statistique des données expérimentales des apports liquides arrivant au barrage

Comme nous l'avons cité dessus, à l'aval du barrage de Ighil Emda (Kherrata) il existe une station hydrométrique qui fonctionne depuis 1923, cependant les périodes d'observation ont un caractère fragmentaire et les séries sont courtes. Nous avons retenu une série d'observation de 16 ans allant de 1953 à 1968. Les données disponibles enregistrées par cette station concernent les apports liquides totaux à l'aval du barrage de Ighil Emda, on ne dispose pas de données relatives au débit de l'oued.

Les données relatives aux apports liquides arrivant au barrage sont présentées dans le tableau 23 suivant :

Tableau 23: Apports liquides d'oued Agrioun (Bassin versant du barrage de Ighil Emda)

Année	Apports liquide (Hm3)
1953	182,4
1954	260,4
1955	126,8
1956	316,4
1957	278
1958	250
1959	249
1960	174
1961	103
1962	219
1963	90
1964	165
1965	204
1966	125
1967	219
1968	142
Moy ann	193,72

2.1.1 Ajustement des apports liquides a la loi de Gumbel :

Les données relatives aux apports liquides des oueds du bassin versant du barrage d'Ighil Emda ont été ajustées à loi de Gumbel, la série de données parait suffisamment ajustée à cette loi. La droite et l'équation d'ajustement sont présentées dans la figure.

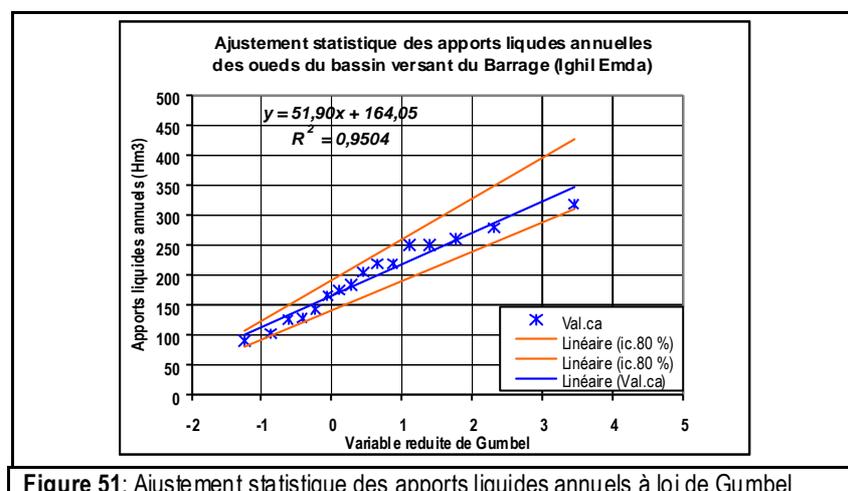


Figure 51: Ajustement statistique des apports liquides annuels à loi de Gumbel

Les modules correspondant à des périodes de retour ont été calculés selon la loi de Gumbel, les apports liquides annuels de différentes fréquences sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 24 : Modules caractéristiques en hm³ pour des périodes de récurrences données

Apports liquides annuels de différentes fréquences									
P. de retour:	2	4	5	10	20	25	50	100	1000
Fréquence:	0,5	0,75	0,8	0,9	0,95	0,96	0,98	0,99	0,999
Variable Gumbel	-0,367	-1,246	-1,5	-2,25	-2,97	-3,199	-3,902	-4,6	-6,907
ALQ Annuels:	144,9527	99,3326	86,15	47,225	9,857	-2,028	-38,51	-74,74	-194,5
Variable Gumbel	0,367	1,246	1,5	2,25	2,97	3,199	3,902	4,6	6,907
ALQ Annuels:	183,0473	228,6674	241,85	280,775	318,14	330	366,5	402,7	522,5

2.2 Estimation des apports annuels des oueds à l'aide de formules empiriques

Comme nous avons signalé dessus, ils n'existent pas de mesures hydrométriques pour les quatre sous bassin versant du grand bassin du barrage de Ighil Emda, ce cas de figure préconise à faire appel aux formules empiriques pour évaluer les apports et débits liquides de chaque sous bassin versant. Nous allons par la suite cumuler les résultats obtenus et les caller par rapport aux données expérimentales (réelles) de la totalité du bassin versant et adopter une formule laquelle présente des valeurs proches de celles mesurées.

Il existe plusieurs outils d'évaluation des apports liquides et solides mis au point par différents auteurs depuis 1948. Ces relations de calculs sont valables dans des conditions géographiques variées.

Les résultats de calcul à l'aide de ces relations sont exprimés dans des unités de mesures différentes : lame écoulée (Le en m ou en mm), soit en débit spécifique (q en l/s.km²), soit en volume (V en hm³).

L'application des différentes relations empiriques a abouti à des résultats très divergents, nous présentons les valeurs estimées dans le tableau suivant :

Tableau 25 : cumul des apports liquides interannuel estimé en Hm³ pour les quatre sous bassin versants

La relation empirique appliquée	Les sous bassins versant				
	Oued Ettaba	Oued El Bared	Oued M'Braek	Oued Takerboust	Total BV
COUTAGNE I	30,34	62,45	30,54	2,96	126,29
COUTAGNE II	26,64	54,84	26,82	2,60	110,90
COUTAGNE III	15,09	29,48	15,19	1,59	61,35
"SAMIE":	18,48	36,14	18,60	1,92	75,14
"CHAUMONT	14,94	30,75	15,04	1,55	62,28
"PADOUN":	14,63	30,75	13,18	1,28	59,84
"DERI I":	21,82	40,08	21,94	3,07	86,91
"DERI II":	15,43	32,14	15,54	1,45	64,56
"DERI III":	18,63	38,36	18,76	1,82	77,57
TOUAT	25,87	63,72	26,04	3,02	118,65
SAIDI	26,03	53,57	26,20	2,54	108,34

2.3 Calage des valeurs estimées avec les valeurs mesurées

L'apport moyen interannuel évalué à l'aide de relations empiriques varie dans une fourchette de **61,35** à **126,29** hm³. En comparant le total cumulé des apports interannuels des quatre sous bassin versant, tout en sachant que le total moyen mesuré à la station est de **186 Hm³**, **certes, les valeur ne sont pas égales, ça est du à la qualité des observations pluviométriques qui présentent un**

caractère fragmentaire. en dépit des valeurs obtenues, on constate que la relation empirique la plus représentative qui donne des résultats très proches de cette valeur est celle de "**COUTAGNE I**": donc nous retenons pour les quatre sous bassin versant les valeurs obtenues à l'aide de cette relation.

2.4 Application de la formule de COUTAGNE I pour estimer l'apport de l'année 1984

La station hydrométrique du barrage de Ighil Emda a enregistré une valeur d'apport liquide très importante, elle était de l'ordre 366 HM 3 en 1984 et qui correspond à une fréquence de retour de 50 ans, les précipitations enregistrées dans la même année étaient en moyenne de 1200 mm.

L'application de la formule de **COUTAGNE I** pour l'estimation de l'apport liquide des oueds affluents du barrage de Ighil Emda pour une même fréquence de retour de 50 ans donne une valeur de 371 HM3 ce qui confirme que la relation de **COUTAGNE I** est bien adaptée au bassin versant du barrage de IGHIL EMDA.

3. QUANTIFICATION DE L'ÉROSION HYDRIQUE DANS LE BASSIN VERSANT PAR APPROCHE EMPIRIQUE

L'étude quantitative de l'érosion hydrique d'un bassin versant est un moyen d'expliquer le degré de la vulnérabilité des versants au phénomène de l'érosion hydrique, ainsi, nous souhaiterons par cette étude d'expliquer quantitativement les phénomènes érosifs décrits et cartographiés précédemment.

La connaissance des valeurs de sédiments érodés ont un intérêt capital pour d'éventuels aménagements hydrauliques. Du fait de la complexité du phénomène étudié Plusieurs approches scientifiques ont été développées pour traduire, le plus fidèlement possible, en chiffres les quantités de matériaux arrachées et transportés par les cours d'eau.

Le thème de l'érosion hydrique a suscité l'intérêt d'un grand nombre de chercheurs qui ont tenté d'expliquer les mécanismes complexes du transport solide et de quantifier les volumes des sédiments transportés. Dans ce contexte, on notera les travaux de Tixeront, (1960), Heusch(1982), Milliman et Meade (1983), Sogreah (1983), Walling (1984), Lahlou(1990) et plus récemment Probst et Suchet (1992) qui ont tenté d'expliquer l'érosion mécanique et de déterminer les dégradations spécifiques des bassins versants de régions magrébines. D'autre part Ghorbel et Claude (1977), Rais et Abidi (1989), Albergel et al (1998), Snoussi et al. (1990), Merzouki (1992), Moukhchane et al. (1998), Demmak (1982), Bourouba (1996,1998), Terfous et al.(2001, 2003), Ghnim (2001) et Megnounif et al. (2003) ont présenté en conclusion de leurs travaux des informations significatives sur le flux des matières transportées par les cours d'eau de quelques bassins versants Tunisiens, Marocains et Algériens.

3.1 Études antérieures effectuées sur le bassin versant :

Le bassin versant du barrage d'Ighil Emad a fait l'objet de plusieurs études quantitatives de l'érosion hydrique, ça a débuté à l'époque coloniale d'où la mise en place du barrage a été envisagée.

Depuis l'année 1953, des suivis réguliers de mesures des sédiments transportés vers le barrage ont été effectués jusqu'à l'année 1956 par l'administration coloniale, à partir de 1963 c'est la SONEGAS qui gère et effectue les mesures.

Des chercheurs universitaires ont étudié les apports sédimentaires qui arrivent au barrage, nous citons Demmak 1982.

En 1992, Mr Boudjemlin de l'université de Bejaia a fait un essai de modélisation du phénomène par l'étude des apports saisonniers des sédiments, une relation entre les apports liquides et solides a été développée pour le bassin versant, il a été démontré qu'il existe un rapport très étroit avec un coefficient de corrélation très grand entre les débits solides et les débits liquides .

En 1999, B. Remmini docteur en hydraulique de l'université de Blida a étudié, à son tour, l'envasement du barrage par les apports solides apporté par les affluents d'oued Agrioun à l'amont du barrage.

Il est cependant important de souligner que toutes les études réalisées au niveau du bassin versant ont été basées sur une approche purement hydraulique qui consistait à la quantification des débits solides (transport en suspension et charriage) des oueds et les chiffres avancés constituent la totalité du bassin versant sans tenir compte à la répartition géographique spatiale du phénomène.

3.2 Approche méthodologique adoptées dans notre étude

A souligner que dans la présente étude, le propos n'est pas de revenir sur les principes théoriques du phénomène d'érosion ni de présenter les causes et les agents responsables sur le déclenchement de l'activité érosive et le système des transports solides. Nous nous intéressons plutôt à mettre en évidence l'existence et le degré de l'activité érosive.

Le travail consiste en premier lieu à avancer des chiffres sur l'érosion, c'est-à-dire reprendre des données déjà obtenues par mesures des débits solides et des données relatives à l'envasement du barrage de Ighil Emda, ces valeurs de l'érosion concernent la totalité des apports arrivant au bassin versant.

Nous rappelons ainsi que notre souhait est de parvenir à déterminer la part des apports solides (érosion) de chaque sous bassin versant élémentaire du grand bassin versant du barrage de Ighil Emda.

Comme l'étude est basée sur l'estimation des apports solides, nous allons exploiter et appliquer des relations empiriques développées par des chercheurs et selon le contexte géographique et les conditions caractéristiques du bassin versant.

En finale, nous effectuerons une comparaison entre les valeurs mesurées de la quantité des sédiments du barrage et celles obtenues par application des relations empiriques, l'objectif est d'adapter une relation pour notre bassin versant pour pouvoir estimer l'érosion de chaque sous bassin versant.

Le zonage des unités sensibles à l'érosion hydrique est réalisé par l'approche de cartographie géomorphologique.

3.3 Valeurs mesurées des sédiments du barrage

Des campagnes de mesures des apports solides et de l'envasement du barrage ont été effectuées après la mise en place du barrage pour contrôler justement le taux d'envasement. Les trois premières campagnes ont été effectuées à l'époque coloniale sur trois années hydrologiques successives, c'était en 1954, 1955 et 1956, les autres campagnes de mesures ont été effectuées en Aout 1981, Aout 1984, la dernière campagne de mesure était en 1992.

Nous présenterons ci dessous les valeurs obtenues des quatre campagnes, notre objectif est d'avoir la valeur moyenne des apports solides qui correspondent approximativement à la valeur moyenne d'érosion :

Les valeurs sont exprimées en m³

3.3.1 Les mesures des apports solides (campagnes 1982 à 1984).

Les données relatives aux mesures des sédiments lors des campagnes de (1982 à 1984) sont les suivantes :

Tableau 26 : données des sédiments du barrage pour les campagnes de (1982 à 1984)

Années	Apport solide en suspension	Apports solides par charriage
1982	1129228	
1983	203962	
1984	948211	
Total apports	2281401	108738
Ass+Asch	2390139	

3.3.2 Les mesures des apports solides (campagnes, 1974 à 1981).

Les données relatives aux mesures des sédiments lors des campagnes de (1974 à 1981) sont les suivantes :

Tableau 27 : données des sédiments du barrage lors des campagnes de (1974 à 1981)

Année	Ass	Asch
1974	237094	
1975	823122	
1976	1453767	
1977	125598	
1978	144165	
1979	396126	
1980	1523020	
1981	285406	
Total apports	4988298	7984702
Ass+Asch	12973000	

3.3.3 Les mesures des apports solides (campagnes, 1953/54, 54/55 et 55/56).

Le tableau suivant présente les valeurs mesurées pour les trois premières campagnes effectuées en 1954, 1955 et 1956.

Tableau 28 : données des apports solides (campagnes, 1953/54, 54/55 et 55/56).

Année	53/54		54/55		55/56	
	Ass m ³	Asch m ³	Ass m ³	Asch m ³	Ass m ³	Asch m ³
Septembre	9544,00		2357		202547,00	
Octobre	53723,00		56955		405490,00	
Novembre	47542,00		228689		173183,00	
Décembre	87272,00		282871		804681,00	
Janvier	114725,00		13216		57249,00	
Février	337759,00		23315		371508,00	
Mars	152348,00		13624		262978,00	
Avril	135756,00		69417		47473,00	
Mai	12831,00		7662		8795,00	
Juin	1015,00		3338		2133,00	
Juillet	151,00		333		537,00	
Août	131,00		482		537,00	
Total des apports solides Suspension+Charriage	952797	3284233	702259	482109	2337111	3002444
	4237030 m³		1184368 m³		5339555 m³	

La remarque faite de la lecture des tableaux est que : Les valeurs des apports solides sont étroitement corrélées avec les valeurs des apports liquides.

Les valeurs des apports liquides qui correspondent aux valeurs des apports solides enregistrées lors des trois premières campagnes de mesures sont successivement :

260 hm³ (1954), **126 hm³** en (1955) et **316 hm³** en (1956)

3.3.4 Les données de l'envasement et de soutirage du barrage

Les mesures de l'envasement du barrage se font par méthode de levé topographique où bathymétrique. Quant au soutirage il' est mesuré lors de l'évacuation de la vase, Les résultats obtenus sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 29 : données de l'envasement et de soutirage du barrage

Compagnes	Envasement m ³	Soutirage m ³	Envasement +Soutirage
1954 à 1956	6141916	4709000	10850916
1974 à 1980	8282661	4690432	12973093
1981 à 1984	2480977	1461889	3942866
1985 à 1992			

3.3.5 Valeurs moyennes de sédimentation et de soutirage du barrage de Ighil Emda

En se basant sur la valeur de l'envasement mesurées par la SONELGAZ, on peut faire ressortir les valeurs moyennes de l'envasement et de soutirage de chaque campagne de mesures, les résultats sont les suivant ;

Les valeurs sont exprimées en m³ :

Les abréviations utilisées désignent :

Moy E : moyenne de l'envasement

Moy S : moyenne de soutirage

Moy Eic : moyenne de l'envasement inter-campagne de mesure

Moy Sic : moyenne de soutirage inter-campagne de mesure

Tableau 30 : valeurs moyennes de l'envasement et de soutirage du Barrage de Ighil Emda

Année	Moy E m ³	Moy S m ³
1954 à 1956	2047305	1569667
1957 à 1974	1893922	/
1975 à 1981	1183237	670062
1982 à 1984	826992	487296
1985 à 1992	888408	1541138
Moyenne Eic	1367973 m³/an	
Moyenne Sic	1067041 m³/an	
Somme Moy Eic + Moy Sic	2435014 m³/an	

Cette valeur volumique de sédiments qui arrivent au barrage concerne la totalité du bassin versant, la division de cette valeur sur la superficie totale du bassin versant nous donne le volume produit par 1km²; cette valeur est de **3781 m³/km²/an**.

Si on considère que la densité moyenne humide de la vase est de $1,3 \text{ t/m}^3$ (résultat mesuré sur la retenue collinaire (BS 21 – w. de Médéa) et un taux de charriage de 20% des sédiments en suspensions on aura un taux d'érosion de : **2908 t/km² /an.**

3.4 Estimation de l'érosion par application des relations empiriques

L'absence des mesures d'érosion des versants et de transport solide pour les affluents du barrage d'Ighil Emad Nous oblige à recourir aux méthodes de calcul par l'utilisation des relations empirique.

Il existe plusieurs formules permettant la quantification de l'érosion hydrique, nous ne citerons que celles qui impliquent des paramètres physiques représentatifs.

Les relations empiriques les plus largement utilisées en Algérie sont les suivantes : Tixeront, Fournier, Gavrilovic, et ANRH-SOGREAH.

Certaines de ces formules expriment les résultats en $\text{t/km}^2/\text{an}$ ou ne prennent pas en considération le transport solide en charriage, dans ces cas nous considérons :

1. une densité moyenne humide de $1,3 \text{ t/m}^3$ de vase (résultat mesuré sur la retenue collinaire BS 21 – w. de Médéa);
2. et un taux de charriage de 20% des sédiments en suspensions

Concernant les données climatiques exploitées, il s'agit de :

- Les précipitations moyennes interannuelles de bassin versant
- Les températures moyennes annuelles (Station de Sétif)

3.4.1. Formule de TIXERONT

Cette relation a été calée sur la base de corrélations établies entre l'apport moyen annuel (A) et la perméabilité (α). Basée sur des données recueillies dans 32 bassin versant d'Algérie et 9 bassins versants en Tunisie (dont quatre alimentant des barrages et réservoirs). Les superficies des bassins versant étudiés varient entre 90 et 22 300 km^2 , la durée d'observation a été proposée par Texiront après avoir regroupé les bassins versant en trois zones d'érosion selon la répartition de la pluviométrie annuelle, les zones proposées sont les suivantes :

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

A partir de la il a proposé les relations suivante :

$$A = 354 * A^{0,15} \text{ (Bassin Tunisiens)}$$

$$A = 92 * A^{0,21} \text{ (Bassin de l'Est de l'Algérie)}$$

$$A = 2000 * A^{0,21} \text{ (Bassin du Centre de l'Algérie)}$$

A - s'exprime en mm dans cette relation ;

3.4.2. Formule DE FOURNIER

Cette formule tient compte du charriage,

$$q_s = \frac{1}{36} * \left(\frac{P_{mmax}^2}{P_a}\right)^{2,65} * \left(\frac{\Delta h^2}{S}\right)^{0,46}$$

où P mmax est la pluviométrie mensuelle moyenne du mois le plus pluvieux ;

Pa - la pluviométrie moyenne annuelle ;

h - la dénivelée moyenne d'après la courbe hypsométrique en m ou 45% de la différence entre les altitudes maximales et minimales ;

S - la superficie du bassin versant en km².

3.4.3. Formule de GAVRILLOVIC

Cette relation largement utilisée en Algérie a été élaborée en Yougoslavie. Elle fait intervenir des caractéristiques physiques et un indice climatique du bassin versant.

$$q_s = q_{s_p} * C_{rm}$$

qsp est le taux de "production" annuelle de matériaux (le charriage y compris) en m³/km²,an; il se calcule selon la relation ci-après:

$$q_{s_p} = T * P_a * \pi * \sqrt{Z^3}$$

Dans cette dernière Pa est exprimé en mm;

- Z est un coefficient d'érosion relative tabulé en fonction de la description du bassin versant, le tableau suivant donne les valeurs que z peut avoir :

Zmoy.	Erosion	de surface	mixte	profonde
1,25	Excessive	1,01-1,20	1,21-1,50	1,51 et+
0,85	Importante	0,71-0,80	0,81-0,90	0,91-1,00
0,55	Modérée	0,41-0,50	0,50-0,51	0,61-0,70
0,3	légère	0,20-0,24	0,25-0,30	0,31-1,40
0,1	très légère	0,01-0,19	traces et	moins

- $\pi = 3,14$ et T un coefficient thermique,

$$T = \sqrt{\frac{t}{10}} + 0,1$$

- t étant la température moyenne annuelle en degré Celcius,

- Crm est le coefficient de rétention tenant compte des discontinuités spatio-temporelles dans le flux des matériaux arrachés aux versants,

$$C_{rm} = \frac{\sqrt{P * Alt.moy}}{0,25(L + 10)}$$

ou P, L, et Alt,moy exprimés en km sont respectivement le périmètre, la longueur du thalweg principal et l'altitude moyenne du bassin versant,.

3.4.4. Abaque «HUSSON»

L'abaque HUSSON (1975) ou relation du taux d'abrasion en fonction du coefficient de torrentialité (v. figure), a été élaboré à partir d'une synthèse des mesures d'envasement de barrages algériens.

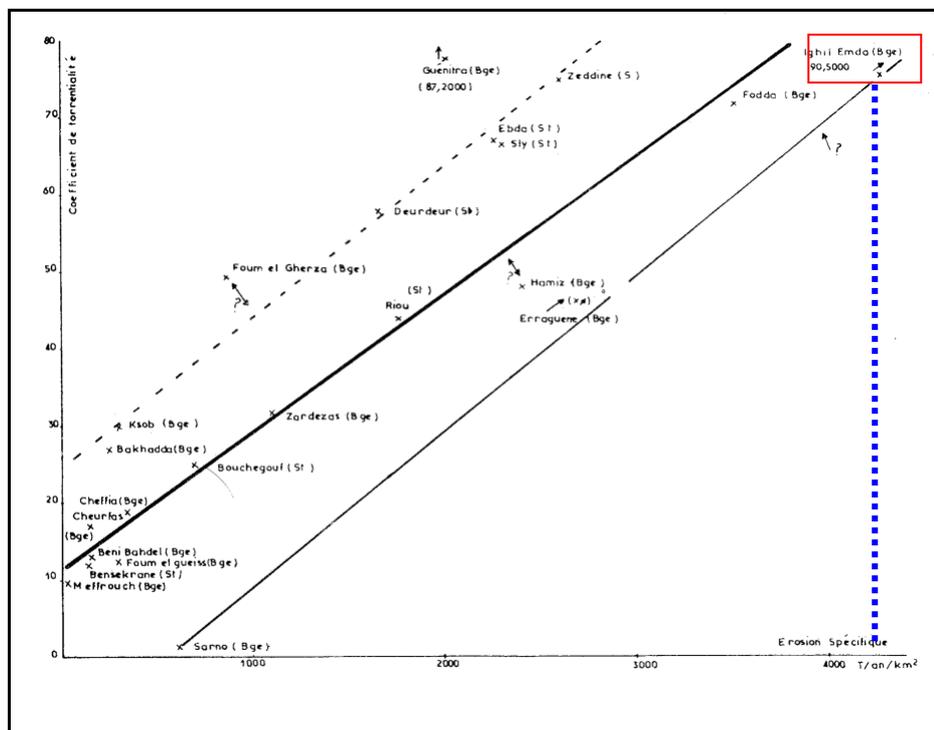


Figure 52: Erosion spécifique en fonction du coefficient de torrentialité au niveau de quelques barrages (Bge) et stations hydrométriques (Sta.); selon A. Husson (1975)

3.4.5. Formule de WISCHMEIER ET SMITH (1976)

La formule de WISCHMEIER dite universel (USLE) est de la forme suivante :

$$P_s = E_p \cdot E_s \cdot F_{lp} \cdot F_p \cdot F_{am} \cdot F_v$$

Avec

P_s : pertes annuelles de sol (t/ha/an)

E_p : érosivité des précipitations (N/h).

E_s : érodabilité du sol ou susceptibilité du sol à l'érosion (t.h/N.ha)

F_{lp} : facteur de longueur de pente (sans dimension)

F_p : facteur de pente (sans dimension)

F_{am} : facteur d'aménagement (sans dimension)

F_v : facteur de conservation des sols pratiqué (sans dimension)

Dans le présent travail, la formule de WISCHMEIER ne peut être utilisée pour les raisons suivantes ;

1-Absence de données pertinentes surtout celles relatives aux pluviométries fréquentielles et les analyses granulométriques et chimiques des unités pédologiques.

2- Difficulté de définition des zones homogènes pour le calcul des facteurs de : l'érodabilité, facteur d'aménagement, facteur de conservation des sols pratiqués.

3.5 Présentation des résultats de calcul obtenus

Les formules employées ont été appliquées pour les quatre sous bassins versants ainsi que la totalité du bassin versant du barrage de Ighil Emda, les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Tableau 31: Apports solides obtenues pour le sous bassin versant de O.Elbarede

Relation	Symbole	Paramètres	SUSPENSION	CHARRIAGE	GLOBAL	VOLUME
			t/km ² .an	t/km ² .an (20% susp.)	m ³ /km ² .an Densité (t/m ³)=	m ³ /an
FOURNIER I:				2 434	3 164	1 002 988
TIXERONT :	A=	169				
	Alfa=	2000	4 317,3	863,5	6 735,04000	2 135 007,680
GAVRILLOVIC:	Z=	0,995				
	Crm=	0,93				
	T=	1,27				
	Qsp=	2656	2 470	494	3 853	1 221 401
HUSSON			4 200	840	6 552	2 076 984
Valeur retenue :			2 470	494	3 853	1 221 401

Tableau 32: Apports solides obtenues pour le sous bassin versant d'O.Ettaba

Relation	Symbole	Paramètres	SUSPENSION	CHARRIAGE	GLOBAL	VOLUME
			t/km ² .an	t/km ² .an (20% susp.)	m ³ /km ² .an Densité (t/m ³)=	m ³ /an
FOURNIER I:				2 548	3 313	510 202
TIXERONT :	A=	169				
	alfa=	2000	4 317,3	863,5	6 735,04000	1 037 196,160
GAVRILLOVIC:	Z=	0,995				
	Crm=	1,01				
	T=	1,22				
	qsp=	2551	2 577	515	4 020	619 080
HUSSON			1 800	360	2 808	432 432
Valeur retenue:			2 577	515	4 020	619 080

Tableau 33: Apports solides obtenues pour le sous bassin versant d'O.M'Barek

Relation	Symbole	Paramètres	SUSPENSION	CHARRIAGE	GLOBAL	VOLUME
			t/km ² .an	t/km ² .an (20% susp.)	m ³ /km ² .an Densité (t/m ³)=	m ³ /an
FOURNIER I:				2 817	3 662	567 610
TIXERONT :	A=	169				
	Alfa=	2000	4 317,3	863,5	6 735,04000	1 043 931,200
GAVRILLOVIC :	Z=	0,995				
	Crm=	0,87				
	T=	1,22				
	Qsp=	2551	2 219	444	3 462	536 610
HUSSON			1 800	360	2 808	435 240
Valeur retenue:			2 219	444	3 462	536 610

Tableau 34 : Apports solides obtenues pour le sous bassin versant d'O.Takerbouste

Relation	Symbole	Paramètres	SUSPENSION	CHARRIAGE	GLOBAL	VOLUME
			t/km ² .an	t/km ² .an (20% susp.)	m ³ /km ² .an Densité (t/m ³)=	m ³ /an
FOURNIER I:				6 482	8 427	126 405
TIXERONT:	A=	169				
	alfa=	2000	4 317,3	863,5	6 735,04000	101 025,600
GAVRILLOVIC:	Z=	0,995				
	Crm=	0,91				
	T=	1,27				
	Qsp=	2656	2 417	483	3 770	56 550
HUSSON			1 800	360	2 808	42 120
Valeur retenue:			2 417	483	3 770	56 550

Tableau 35: Apports solides obtenues pour le sous bassin versant du barrage de Ighil Emda.

Relation	Symbole	Paramètres	SUSPENSION	CHARRIAGE	GLOBAL	
			t/km ² .an	t/km ² .an (20% susp.)	m ³ /km ² .an Densité (t/m ³)=	m ³ /an
FOURNIER I:				1 743	2 266	1 459 304
TIXERONT:	A=	169				
	Alfa=	2000	5 873,4	1 174,7	9 162,53	5 900 669,320
GAVRILLOVIC:	Z=	0,875				
	Crm=	1,10				
	T=	1,27				
	Qsp=	2190	2 409	482	3 758	2 420 152
HUSSON			4 200	840	6 552	4 219 488
Valeur retenue:			2 409	482	3 758	2 420 152

3.6 Calage des résultats obtenus par les formules empiriques avec les données mesurées

Le calage des résultats consiste à comparer les valeurs des apports solides (érosion) obtenues par application des différentes relations empiriques et les valeurs obtenues lors des campagnes de mesures de l'envasement, l'objectif est de pouvoir adapter, si c'est réalisable, une relation empirique qui nous permet de calculer les valeurs d'érosion à n'importe quel point du bassin versant.

En comparant les résultats calculés par les relations empiriques et ceux mesurés sur le terrain nous constatons que :

- 1- Deux relations employées surestiment l'érosion, il s'agit de la relation de **Tixeront** et celle de l'abaque de **Husson** qui donnent des valeurs respectivement triples et doubles ;
- 2- Une relation sous-estime l'érosion, il s'agit de la relation **Fournier** qui donne une valeur de ½ de la valeur mesurée.

Il reste une relation qui a l'avantage d'exploiter plusieurs paramètres physiographiques et climatiques du bassin versant, il s'agit de la relation de **GAVRILLOVIC** qui donne une valeur presque égale à celle mesurée sur le terrain, elle est de l'ordre de **2908 t/km²/an** pour celle mesurée et **2891 t/km²/an** pour celle calculée selon la formule de **GAVRILLOVIC**.

La valeur de l'érosion obtenue par la relation de GAVRILLOVIC a été calculée en arbitrant le paramètre Z qui est égale à **0,875** et qui signifie une érosion importante à excessive pour le bassin versant du barrage de IGHIL EMDA.

nous avons adopté la même formule de GAVRILLOVIC Pour les quatre sous bassins versants en fixant le Z à **0,995** justement pour pouvoir obtenir, avec l'addition des résultats, la même valeur que celle mesurée sur le terrain. Le bassin versants d'Oued Atteba est le plus dégradé par rapport aux autres sous bassins versant avec un taux d'érosion de **3092 t/km2/an**.

*En définitive dans le cadre de ce travail, la relation de GAVRILLOVIC qui dépend largement des **précipitations et de la morphométrie** sera la relation retenue et employée pour la quantification de l'érosion dans notre bassin versant.*

3.7 Reconstitution de quelques petites crises érosives depuis 1953, selon la relation de GAVRILLOVIC

Durant la période allant de 1953 jusqu'à 1984 et selon les mesures faites par les gestionnaires du barrage, quatre crises érosives ont marqué le bassin versant du barrage de Ighil Emad, il s'agit des crises qui correspondent aux années, 1956, 1976, 1984 et 1986. L'important taux d'érosion durant ces années s'explique bien par les quantités abondantes des pluies tombées. La moyenne des pluies tombées des quatre stations pluviométriques qui correspondent à ces années sont respectivement, 1100, 829, 1100, 867mm.

La période allant de 1987 jusqu'à 2001 a été marquée par une stabilisation relative dans l'activité érosive où les pluies tombées sont généralement inférieures ou égales ou légèrement supérieures à la moyenne.

Les deux années 2002 et 2003 ont été exceptionnellement et successivement marquées par des chutes très abondantes des pluies ce qui a engendré des modifications très remarquables dans les profils transversaux et longitudinaux des oueds à cause des fortes charges solides.

Nous essayerons de traduire quantitativement ces modifications en appliquant la formule de GAVRILLOVIC pour reconstituer les valeurs d'érosion.

Sachant que les pluies moyennes enregistrées en 2002 et 2003 par les quatre stations déployées au niveau du bassin versant sont respectivement 931 mm et 938 mm.

Les valeurs d'érosion qui correspondent à ces quantités de pluies sont, selon GAVRILLOVIC :

Année	quantité des matériaux en m ³	Taux d'érosion t/km ² /an
2002	3359104,00	4012
2003	3384220,00	4042
Total	6743324,00	4027

Une remarque très importante est ressortie de la lecture des valeurs d'érosion.

En comparant la valeur du total d'érosion enregistré en 30 ans avec celle calculée pour les deux années 2002 et 2003, nous avons pu établir un rapport entre les deux valeurs, le tableau suivant résume les résultats :

Total d'érosion en 30 ans	27766875
Total d'érosion de 2002 et 2003	6743324,00
Rapport des deux Totaux	0,242854985
Pourcentage	24 %

Il s'avère que **24 %** de quantité d'érosion enregistrée en 30 ans ont été produites seulement en deux ans ce qui confirme et mis en évidence que les deux années 2002 et 2003 ont été les plus érosives depuis **1957**. Sur le terrain ces valeurs d'érosion ont **reconfiguré les tracés et les profils des oueds, tant sur le plan transversal (exhaussement des lits) que sur le plan spatiale, ce que nous**

essayerons de mettre en évidence par la comparaison des documents cartographiques diachroniques.

4. ETUDE DE L'EVOLUTION MORPHOLOGIQUE PAR APPROCHE DIACHRONIQUE

Introduction

L'aspect relatif à l'étude des traits de l'évolution géomorphologique est basé sur l'exploitation d'un certain nombre d'informations susceptibles de nous fournir des indications sur les tendances évolutives des phénomènes géomorphologiques de la région étudiée, à ce propos nous avons fait appel à des :

- documents diachroniques (photo aérienne et profil des oueds de dates différentes) ;
- Témoins matériels (des implantations et des installations anthropiques) ;
- enquêtes auprès des autochtones de la région.

L'étude diachronique de l'évolution morphologique dans le bassin versant du barrage d'Ighil Emda est une étude **qualitative explicative** des résultats quantitatifs obtenus précédemment.

C'est une approche hydro-géomorphologique complémentaire, de l'étude cartographique géomorphologique, qui consiste à étudier les variations spatiotemporelles des fonds et berges des oueds (Bandes actives des oueds) durant les quarante dernières années, elle est basée sur la comparaison de séries de photos aériennes de dates différentes.

Dans cette étude diachronique, le propos n'est pas d'avancer des chiffres précis sur le taux de remblaiement et d'exhaussement des lits des oueds, mais l'objectif est plutôt de mettre en évidence l'ordre de grandeur de l'évolution spatiale (extension) de la section de l'Oued.

On aurait souhaité fabriquer un Orthophotoplan par lequel on défini avec le maximum de précision l'évolution des limites des berges de l'oued, d'autant en évalue la hauteur, cependant, les moyens employés étaient si modestes qu'on s'est contenté d'analyser visuellement les documents diachroniques.

L'étude sera axée sur une portion de l'Oued Ettaba, considéré comme le plus représentatif de la totalité du bassin versant ainsi le plus touché par les changements géomorphologiques.

Ainsi, Nous allons exploiter, des témoins matériels existant implantés dans l'oued pour estimer l'évolution du profil transversal du fond de l'oued.

a. Méthodologie de travail

Dans ce volet, le travail a été fait en deux temps :

En premier temps, un travail de bureau, à l'aide d'un stéréoscope, est porté sur la photo interprétation des deux prises de vue aériennes, et les photos satellites de Google Earth;.

L'opération consistait à délimiter, sur des calques transparents, les éléments de l'oued c'est-à-dire les lits de l'oued (mineur et majeur) et les terrasses alluviales, la même opération est faite pour les photos aériennes de l'année 1960 et celles de l'année 1999.

Des points d'appuie ont été matérialisés sur les mêmes calques pour qu'on puisse les caller (géo référencés) et les corriger par rapport aux points correspondant se trouvant sur les cartes topographiques, l'objectif est de pouvoir estimer les distances de rétrécissement où d'élargissement des berges de l'oued.

En deuxième temps : la photo-interprétation a été vérifiée, corrigée et validée suite à une sortie de terrain que nous avons effectuée. Parallèlement au travail de validation des levées de photo-interprétation nous avons réalisé des levés hydro géomorphologiques actuels de l'oued Ettaba.

b. Apports de l'enquête et du travail du terrain

Le travail de terrain est une opération complémentaire indispensable dans chaque travail scientifique en rapport avec le milieu naturel.

Parallèlement au travail de terrain, une enquête menée auprès de quelques personnes âgées de la région qui ont vécu les transformations et les événements géomorphologiques des 60 dernières années. Le travail de terrain et l'enquête ont été d'un apport super considérable et abondant en terme d'informations et ont constitué des valeurs ajoutées pour notre analyse, sur cette base, nous avons réunis des éléments très intéressants qui permettent manifestement d'aboutir aux objectifs de l'étude et d'obtenir des résultats appréciables.

4.1 Etude diachroniques de la photo-interprétation

L'examen des photos aériennes, appuyé d'une enquête menée sur le terrain, montre visiblement et manifestement, et sans s'embrouiller dans les calculs dimensionnels, un changement spectaculaire sur le plan spatial de l'oued, d'autant, il s'ajoute à ceci un incessant changement du tracé du fil d'eau.

L'on souligne autant, que Parallèlement et conjointement à l'élargissement des berges de l'oued, un remplissage et un exhaussement spectaculaire des lits d'oued qui se manifestent et s'observent en allant vers l'aval et qui a **provoqué par endroit l'ensevelissement des terrasses**.

Selon notre diagnostic étayé par un questionnement des personnes locales dont l'âge dépasse 70 ans, nous avons constaté que, part endroit, des terrasses alluviales présentes jusqu'aux années 80 ont disparues aujourd'hui et ensevelies sous les alluvions actuelles.

La lecture comparative des photos aériennes nous fait remarquer que (figs 53-54) :

Le fond de l'oued tel que paraît sur la photo de 1960 (fig 53) est dépourvu totalement de végétation à cause des sédiments caillouteux grossiers qui n'offrent aucun avantage à l'installation de végétation, cette situation atteste de la faiblesse de l'activité érosive et les pauvres apports des matériaux fins.

Le fond de l'oued tel que s'observe sur les photos aériennes prises en 1998 et 2002 est peuplé avec une végétation typique de sédiments fins attestant l'abondance des apports en sédiments fins

Les limites actives de l'oued, tel que s'observe sur l'image de 2008, se sont manifestement et considérablement élargies surtout à l'aval notamment à Ouled N'seur. Le fond de l'oued au cours de cette année 2008 paraît peuplé par une colonie de végétation typique de sédiments fins attestant par conséquence une activité érosive excessive.

Une activité érosive très intense qui s'opère dans les oueds du secteur étudié peut s'observer au niveau des zones de sinuosité comme se remarque sur les photos par des cercles verts.

Si on s'intéresse à l'occupation du sol de cette portion du bassin versant, nous remarquons qu'en l'espace de 50 ans, l'occupation du sol a sensiblement changé, on observe une forte concentration des habitas surtout qui longe les routes principales, ce constat nous conduit à admettre l'hypothèse la plus plausible d'un changement géomorphologique étroitement lié l'anthropisation du milieu.

Le croisement des données quantitatives de l'érosion et les documents diachroniques analysés démontre que : Entre la période de 1960 jusqu'à 1998 l'activité morphogénique était forte, cependant elle a été déroulée à un rythme relativement constant.

Entre 1998 et 2008, l'activité morphogénique a passé à un palier accéléré exponentiel où nous avons constaté que 24% des sédiments acheminés par les Oueds ont été enregistrés en 2 ans entre l'année 2003 et 2004.

Dans des conditions morphogéniques constantes, un tel changement tel que observé dans le bassin versant du barrage de Ighil Emda, ne peut être effectué qu'en espace historique relativement long, soit millénaire.

Les changements qui s'opèrent ne s'étaient jamais accompagnés de mesure de lutte antiérosive ou de stabilisation régulatrice, ce qui fait non seulement perdurer la situation mais plutôt tendre vers une situation d'irréversibilité

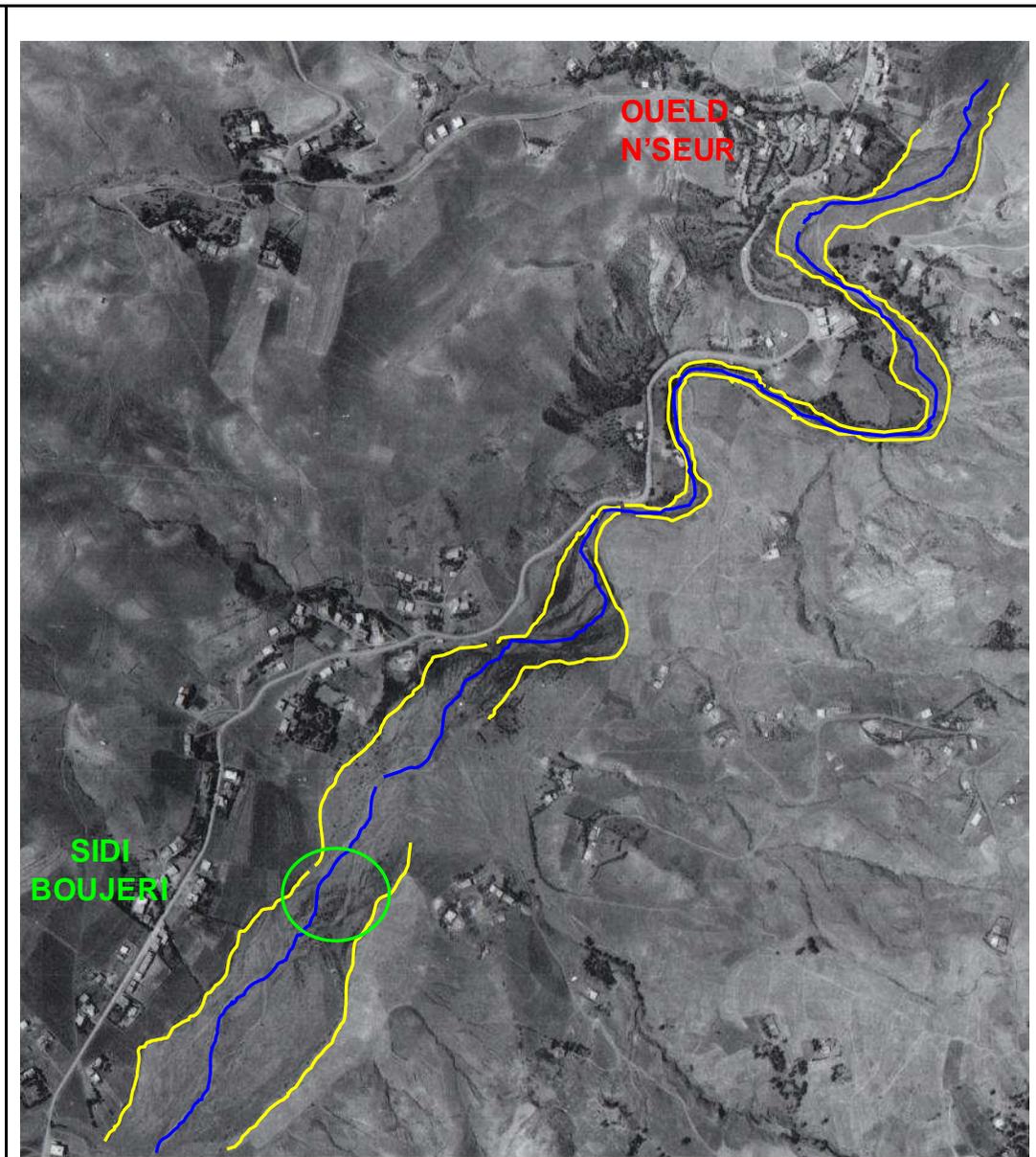
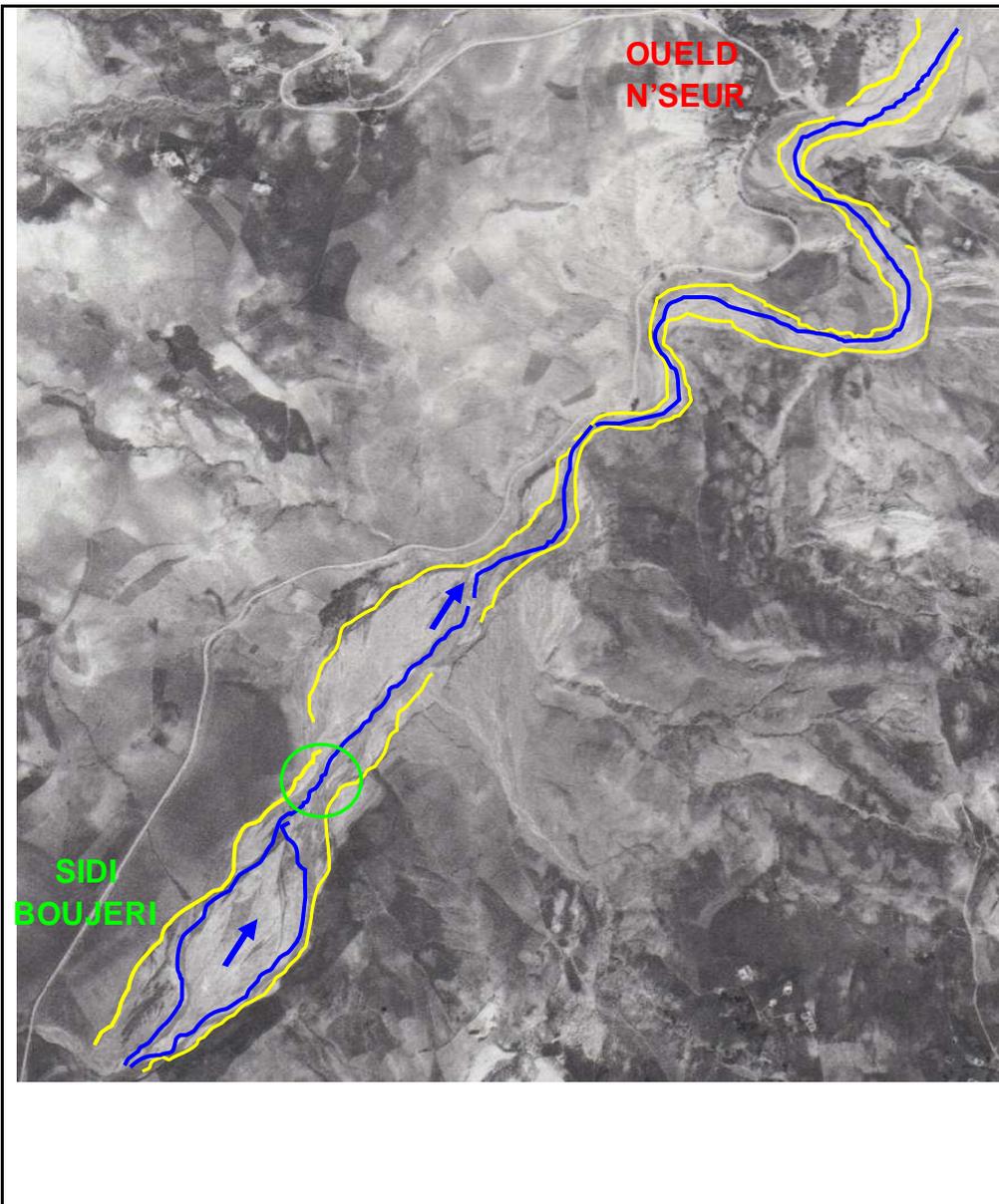


Figure 53 : Photo aérienne prise en 1960

Figure 54 : Photo aérienne prise en 1998

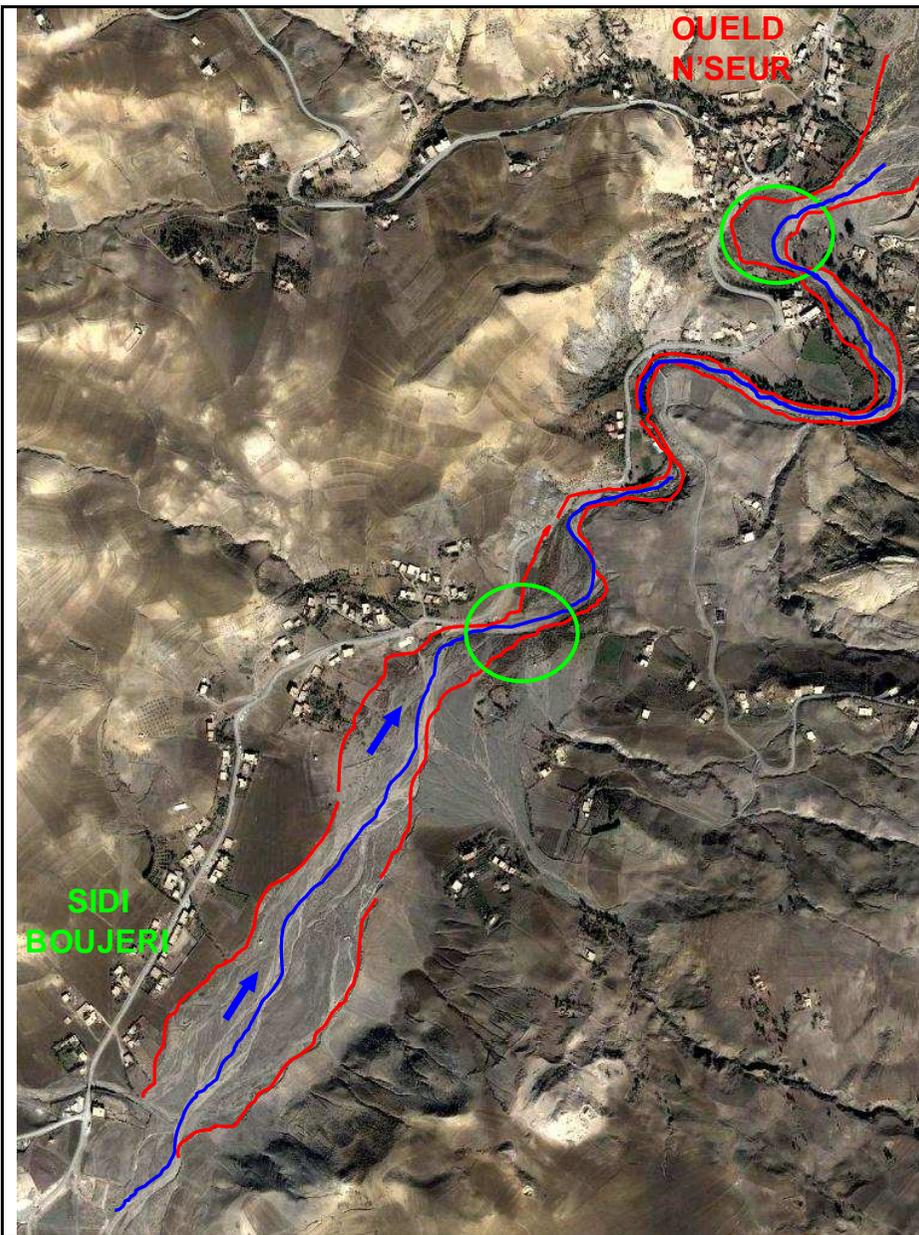


Figure 55 : Image Satellite prise en 2002

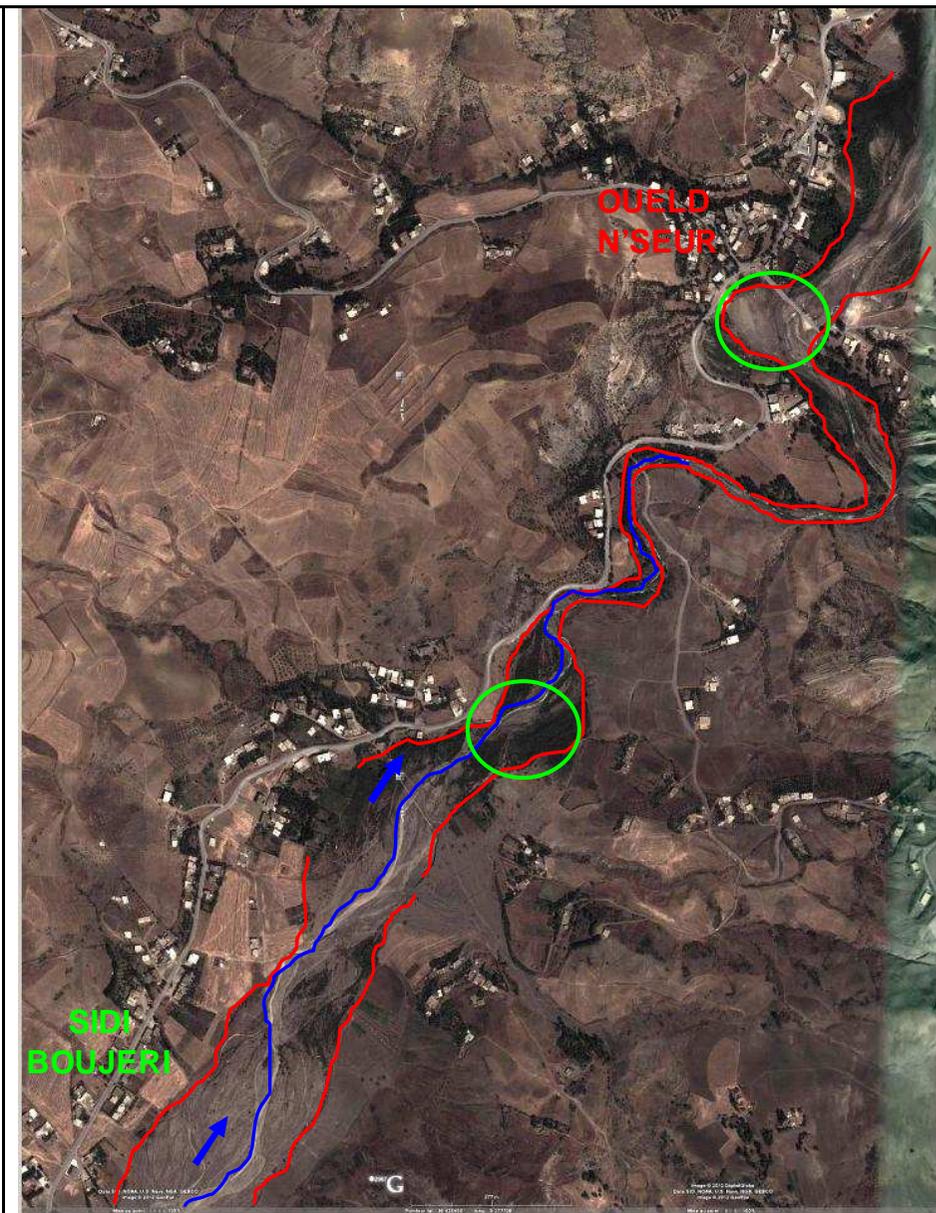


Figure 56 : Image Satellite prise en 2008

4.2 Etude diachroniques par Exploitation des Témoins matériels

A défaut de possibilité de détenir l'information relative aux profils en travers des Sections de l'oued, nous avons tablé sur des témoins matériels que l'on a supposé utiles mais aussi efficaces pour donner des indications plus au moins représentatives de l'évolution transversale du fond (lits) de l'oued.

Ainsi, nous signalons que la datation des dépôts, en dépit de son importance, n'est pas le propos de cette étude, car cela nécessite des moyens bien appropriés. Cependant, l'objectif de cette analyse est de se faire une idée du degré de changement opéré dans le bassin versant, dans les oueds particulièrement.

À cet égard, il a été question d'exploiter un témoin matériel qui date de 1985, c'est un fil transportant l'électricité par voie aérienne qui traverse une section de l'oued Etudié (Oued Etteba).

La mise en place de cette ligne est faite de telle sorte que sa hauteur serait supérieure à 5m par rapport au fond l'oued. Après 27 ans de mise en service, on aperçoit aujourd'hui que cette hauteur est diminuée de 75 % soit une hauteur de 3,75m (Photo 29), Cette situation est due au remplissage du fond de l'oued par les alluvions apportées par ses Eaux.

	
<p>Photo 29 Ligne électrique traversant l'Oued Etteba (Vue Transversale)</p>	<p>Photo 30 : Mesure de hauteur de la ligne électrique (1.3 m)</p>

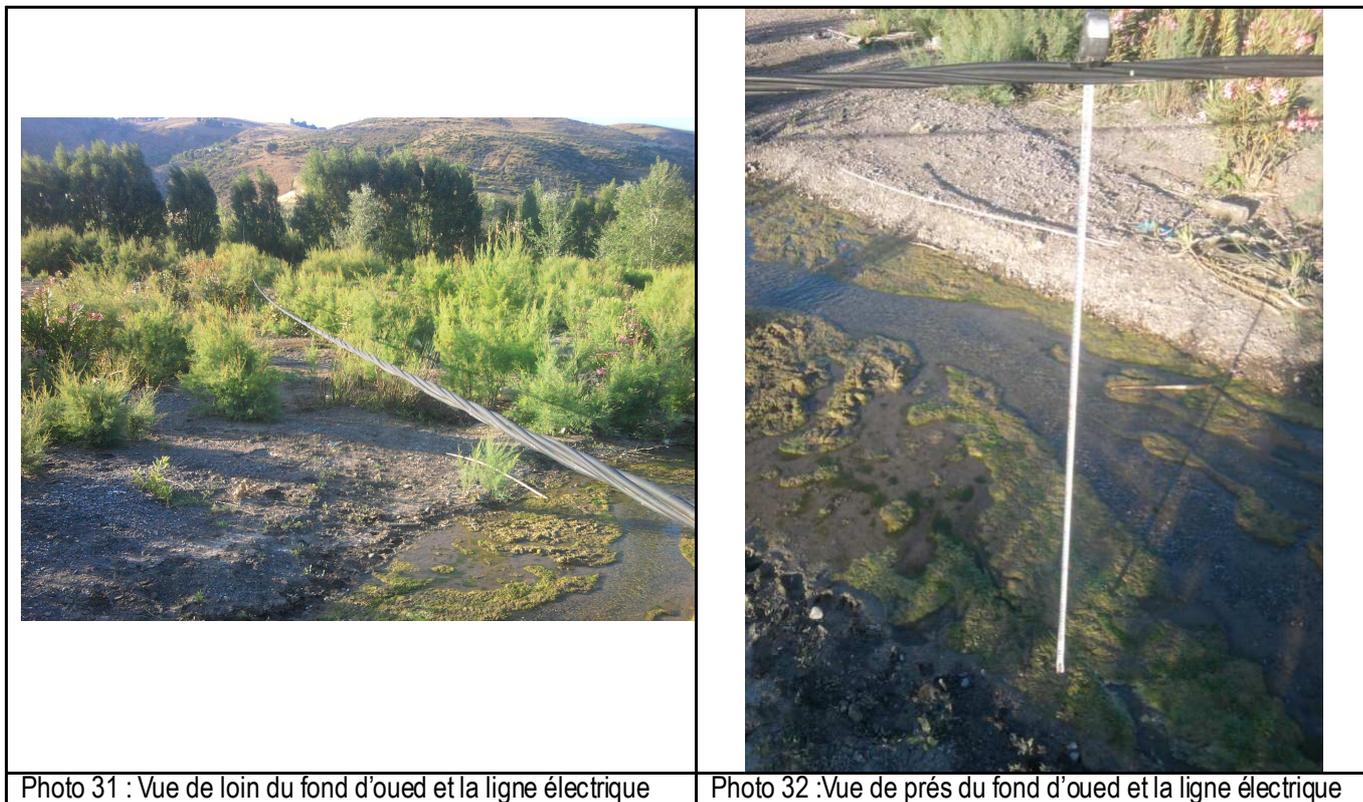


Photo 31 : Vue de loin du fond d'oued et la ligne électrique

Photo 32 : Vue de près du fond d'oued et la ligne électrique

Ces formations alluvionnaires, telles que configurées dans les paysages actuels, ne peuvent être considérées comme des anciens héritages géomorphologiques, car l'enquête historique sur le terrain et l'analyse diachronique par photo-interprétation montre que ces changements ont accompagné l'anthropisation du milieu et les mutations socio-économiques, débutées dans les années 1980.

Un tel changement, en supposant une sédimentation régulière dans le temps, est rarement perceptible à l'échelle historique humaine où suite à un phénomène climatique événementiel de longues périodes de retour.

Cette analyse montre que des crises érosives environnementales majeures à caractère catastrophique sont produites dans une petite intervalle de temps, comme 1984, 2002, 2003 dont les crues engendrées par les pluies sont importantes, elle correspondent généralement à de petites périodes de retour décennales, en principe, selon l'étude statistique des précipitations.

5. LES CHANGEMENTS MORPHOGENIQUES DANS LE BASSIN VERSANT : FACTEURS ET PROCESSUS

A la lumière de notre analyse géomorphologique, la quantification de l'érosion et l'analyse diachronique, on peut regrouper les principaux facteurs responsables du changement et de modification de la morphologie de la région en trois principaux facteurs que nous présenterons ci dessous :

5.1 Les facteurs intrinsèques

Les facteurs intrinsèques sont les variables de contrôles qui correspondent aux composantes du milieu, à savoir : la topographie de la région dont les éléments essentiels sont des montagnes aux pentes fortes, 54, % des reliefs du bassin versant ont une pente supérieure à 20 %, ce facteur topographique offre une résistance faible et favorise la concentration et la diffusion des forces érosives. Ils s'ajoutent aux facteurs topographiques la structure géologique et la nature lithologique de la région dont l'essentiel

des formations sont de nature meuble, imperméable et vulnérable à l'érosion. D'autant plus, l'absence du couvert végétal qui définit une certaine capacité d'absorption et de stockage d'énergie émise par les perturbations, a contribué à l'aggravation et à la dégradation excessive des paysages géomorphologiques.

5.2 Les facteurs extrinsèques

Les facteurs extrinsèques sont en relation avec les perturbations climatiques, il s'agit des précipitations, dont l'essentiel dépend de l'intensité du régime pluvial et d'écoulement des eaux. Les quantités de la pluie reçues dans la région d'étude qui varient de 700 à 1000 mm sont suffisantes pour occasionner des crises érosives, les pluies automnales qui succèdent une longue période de sécheresse sont celles qui engendrent le plus de dégât.

En été, La longue période de sécheresse estivale est propice pour l'ameublissement des sols en fragilisant sa structure pour le rendre vulnérable à l'érosion.

En hiver, il s'ajoute aux pluies, l'effet du gel et de dégel qui constitue quant à lui un processus de météorisation qui fragilise à son tour la structure des formations superficielles.

5.3 Les facteurs anthropiques

En raison du rôle déterminant de l'homme dans les changements morphologiques, nous avons jugé important de porter un intérêt particulier au facteur anthropique comme agent directement responsable de l'érosion en étudiant les caractères socioéconomiques de la région.

Notre analyse est un très bref survol sur les grands traits et axes de la socio économie de la zone d'étude car il existe un rapport très profond entre le phénomène étudié, qui est l'évolution paysagère du milieu physique et L'homme qui est au centre de toute activité. Nous souhaiterons aussi savoir quelle est la part de responsabilité de l'homme dans l'évolution des paysages géographique où souvent les causes naturelles seules est jugées responsable.

L'étude est portée sur une unité physique qui 'est un bassin versant d'une superficie moyenne qui intègre plusieurs communes de deux wilaya. Les valeurs statistiques établies dans le cadre du RGPH relatives au nombre d'habitat et de population ne concernent que les unités administrative (communes), nous avons jugé inutile de se focaliser sur des valeurs numériques et des tableaux pour valoriser notre analyse, c'est pourquoi nous avons opté pour un moyen cartographique qui consiste à représenter cartographiquement les habitats.

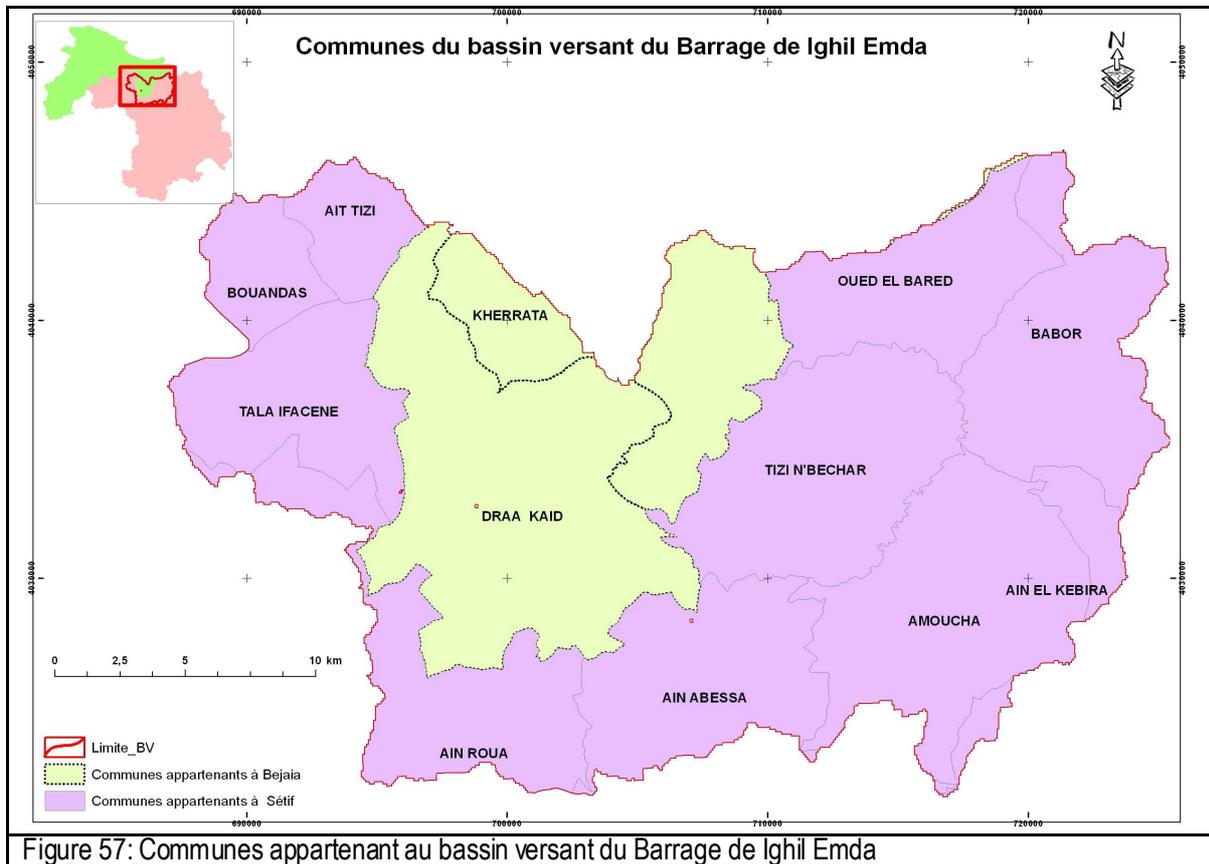
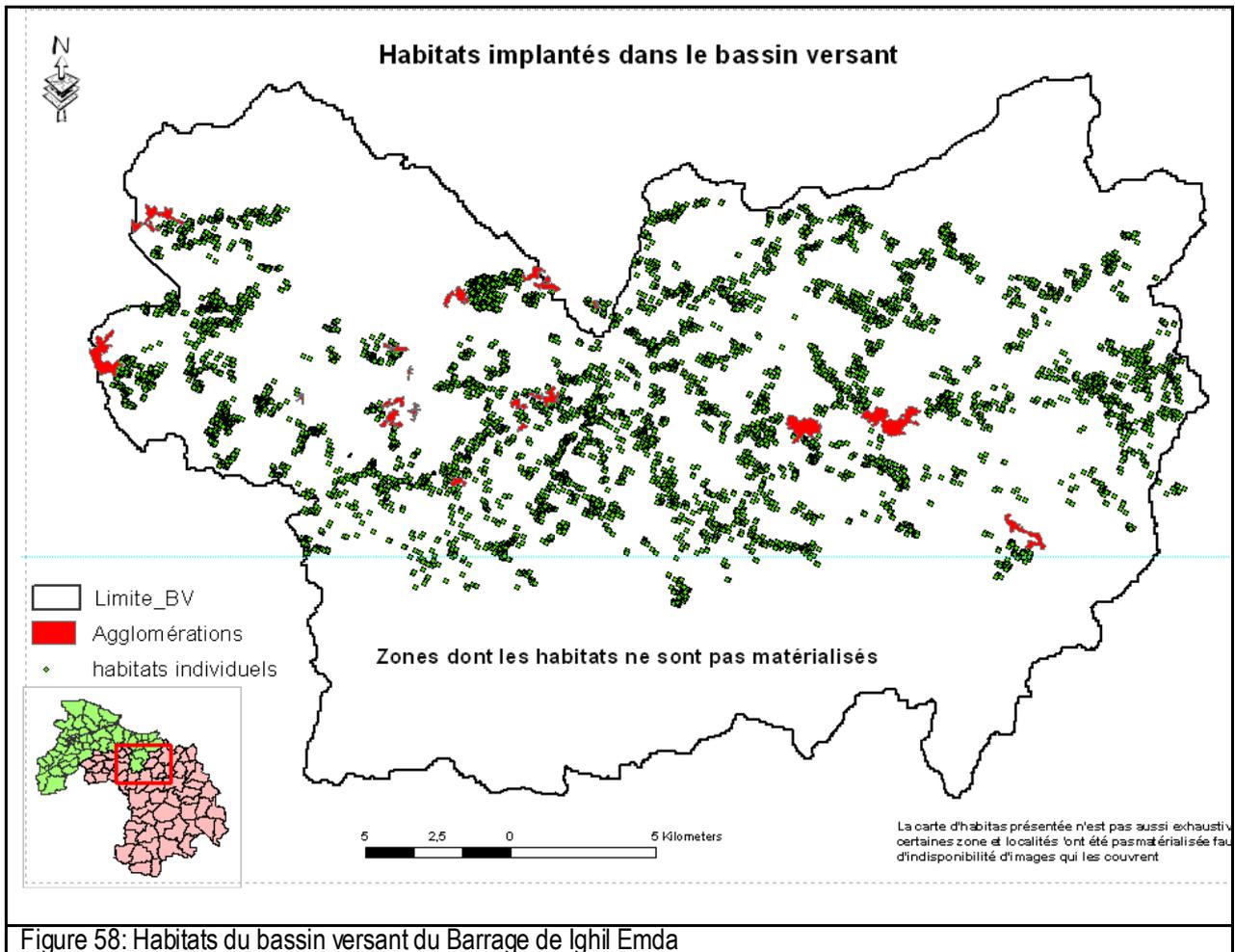


Figure 57: Communes appartenant au bassin versant du Barrage de Ighil Emda

Nous avons exploité les images les plus récentes disponibles à l'échelle du bassin versant, chaque habitat existant, tous types confondus, a été matérialisé par un point sans tenir compte de sa nature, habité ou non. Les agglomérations (habitas regroupés) sont délimitées par une entité surfacique.

L'objectif de l'analyse est de faire ressortir les rapports existants entre l'homme et le milieu, de voir quel est l'impact des implantations humaines et comment est il traduit sur l'environnement ? Est ce que ces implantations répondent à certains critères et normes naturels régissant l'utilisation du milieu naturel ? Mais aussi faire une évaluation socioculturelle.

A priori il est claire qu'il existe un rapport très étroit entre le nombre d'habitats et la démographie, en fait l'analyse d'habitat est un moyen aussi efficace pour connaitre la concentration des habitats et leurs répartitions spatiales, d'autre part avoir idée sur la démographie,



5.3.1. Analyse cartographiques de l'habitat

Des images satellites à l'échelle du bassin versant datant de 2003 ont été exploitées mais ne reflète pas actuel l'état des lieux car depuis cette date à ce jour d'autres extension ont eu lieu.

L'on souligne également que l'ensemble des communes du bassin versant d'oued Agrioun ont un caractère rural et une nature à vocation beaucoup plus agricole.

La lecture de la carte révèle que le bassin versant du Barrage de Ighil Emda Est densément peuplé, il s'agit généralement des habitats ruraux dispersés construits en béton et qui occupe une surface moyenne de 100 m² :

Le peuplement du bassin versant remonte à l'époque précoloniale, le nombre d'habitat actuel effectif a amplement augmenté de puis l'indépendance selon un rythme constant jusqu'à la fin des années 90 , c'est à l'issue d'un vaste programme d'octroi des aides pour construire des maisons individuelles, pour le maintien des population, que le rythme est devenu **prolifère**.

L'augmentation de nombres d'habitats traduit l'image d'une croissance démographique importante. Des besoins et des demandes d'habitats sont incessamment exprimés.

5.3.1. Les conséquences de l'anthropisation

Une pression énorme est exercée sur le bassin versant, des impacts néfastes sont traduit sur l'environnement, l'économie et la société sont constatés, ils relèvent de:

- l'exploitation irrationnelle des ressources ;
- des pratiques culturelles contre norme ;

- désordre dans la gestion des déchets solides et liquides (eau sanitaire), souvent la collecte des déchets n'est pas organisée sinon absente, les déchets sont jetés dans les oueds et acheminés vers le barrage dont la qualité des eaux se dégrade incessamment ;
- l'ouverture de pistes sans le respect de la charte environnementale.
- la conversion de forêts et pâturages pour d'autres utilisations impropres
- la consommation abusive des terrains
- la dégradation des terres et la forte diminution de la superficie par habitant des terres cultivables ce qui a forcé les gens à partir à la recherche de meilleures conditions de vie qu'ils ont espéré trouver dans les grandes villes.

Ces disparités n'est autre qu'une figure d'un renversement de la logique socioculturelle-économique

CONCLUSION DU CHAPITRE 2

Dans ce deuxième chapitre consacré à l'étude spécifique de l'évolution géomorphologique, en exploitant les données de base en rapport avec le milieu physique, étudiées dans le premier chapitre, il s'aperçoit que la zone d'étude subit des modifications morphologiques importantes, elles sont traduites, surtout, par des taux très élevés d'érosion, 3000 t/km²/ an, et une morphogénèse accélérée. La défiguration du paysage reste le fait le plus marquant dans la zone étudiée où le **ravinement généralisé** touche l'ensemble des versants de la région, les glissements de terrain sont autant des phénomènes érosifs qui marquent la dynamique morphologique de la région mais ils restent très localisés en comparaison avec le ravinement.

L'étude des écoulements des oueds et l'hydrologie du bassin versant du barrage de Ighil Emda a été d'un apport considérable pour comprendre le fonctionnement du système morphogénique. Les écoulements en général sont largement conditionnés par les caractéristiques physiographiques (morphométriques) et climatiques essentiellement et principalement les précipitations du bassin versant

En l'absence de stations de mesures hydrologiques, le recours aux relations empiriques semble un alternatif efficace pour l'estimation des apports et débit liquides. Notons que, pour le bassin versant du barrage d'Ighil Emda, elle a été retenue la relation de **COUTAGNE I** pour l'estimation des valeurs des apports liquides.

La quantification de l'érosion dans le bassin versant du barrage de Ighil Emda, par l'application d'une série de formules empiriques, a révélé une activité érosive excessive voir dramatique, malgré des valeurs d'érosion divergentes obtenues selon les différentes formules.

Elle a été retenue la relation de **Gavrillovic** pour l'estimation du taux d'érosion du bassin versant ainsi les sous bassins élémentaires, c'est un choix fait après avoir appelé les résultats obtenus par application de la relation empirique avec des mesures réelles de l'envasement du barrage. c'est une relation qui tient compte des caractéristiques physiques du bassin versant et les variables climatiques.

L'étude et la reconstitution des phases érosives qui ont marqué le bassin versant, depuis la mise en place du barrage, ont mis en évidence **six crises érosives**, une crise enregistrée en 1956, les deux années 2002 et 2003 ont été marquées successivement par une très importante voir dramatiques activités érosives.

Les changements et l'évolution morphologiques sont non seulement dépendante du type et d'intensité du régime pluvial et d'écoulement mais elle dépend aussi des variables de contrôle qui correspondent aux caractéristiques intrinsèques du bassin versant et l'état de l'occupation du sol qui définissent une certaine capacité d'absorption des perturbations auxquelles elles sont soumises.

Le changement morphologique en relation avec les perturbations climatiques est considéré comme un ensemble de processus-réponses qui impliquent un transport de matières, une évolution des formes et un réarrangement de la structure du système [Brunsden, 2001]. La mise en œuvre de ces processus implique le dépassement de seuils (intrinsèques ou extrinsèques) qui sont fonction de la résistance du système aux forçages externes. Brunsden [2001] différencie plusieurs éléments permettant de définir cette résistance (Topographie, géologie, l'organisation spatiale des formes géomorphologique)

L'enquête historique sur le terrain et l'analyse diachronique par photo-interprétation montrent que les changements géomorphologiques ont accompagné l'anthropisation du milieu et les mutations socioéconomiques, débuté dans les années 1980. Les conditions anthropiques correspondent aux pratiques culturelles et l'aménagement de l'espace. Le croisement et la corrélation des données de l'érosion et de l'occupation du sol montrent qu'à partir de l'année 1998 une forte pression a été exercée sur le milieu du bassin versant par des nouveaux programmes d'habitat ruraux, ce qui est exprimé par des valeurs d'érosion alarmantes.

CONCLUSION GENERALE

Après avoir défini les objectifs de cette étude et les limites du terrain étudié, nous avons essayé de définir la structuration de ce mémoire en allant de la problématique aux approches méthodologiques utilisées. Nous nous sommes intéressés aussi dans le premier chapitre de ce mémoire à l'analyse, la définition et surtout à la caractérisation du milieu étudié.

En effet, l'étude menée dans le cadre de ce chapitre nous a permis d'identifier les principaux caractères du bassin versant du barrage de Ighl Emda et d'approfondir notre connaissance du milieu physique et du cadre socioéconomique de cette région montagnarde.

Le milieu dans cette zone est, en effet, dominé par des reliefs accidentés et des terrains fortement chahutés où les éléments topographiques sont très serrés et où la lithologie des terrains est dominée par les faciès tendres et plastiques, comme les marnes et les argiles.

Les terrains dans cette zone se caractérisent aussi par l'importance de l'encaissement du réseau hydrographique, qui dans la plupart des cas emprunte des lignes de failles ou des couloirs structuraux.

Le réseau hydrographique est, en effet, très développé en terme de densité et de ramification ce qui explique le caractère intrinsèque fragile des reliefs vis à vis des forçages externes et un régime hydrologique turbulent. Il ressort de cette étude aussi, à partir de l'analyse biogéographique, que le type de climat de cette zone est de type méditerranéen à hiver pluvieux et froid et un été sec et chaud. Le total annuel des pluies est de l'ordre de 670 à 700 mm en moyenne, réparties de manière irrégulière sur l'année. Cette même quantité de pluie permet de classer cette zone dans l'étage bioclimatique subhumide qui se traduit sur le terrain par des garigues ou des forêts, localement, de chêne vert, chêne zen, pin d'Alep, et du sapin de Numidie et du cèdre sur les hauteurs. Ce sont des forêts qui se présentent sous la forme de reliques sur les reliefs de Dj. Babor.

Cependant cette zone reste fortement marquée par la dégradation et le recul du couvert végétal et l'appauvrissement des sols, particulièrement sur les versants piémontais et sur les reliefs montagneux.

Quant aux espaces boisés, ils se limitent à la commune de Tizi N'Bechar de la wilaya de Sétif témoignant d'une opération de reboisement inachevée et échouée, entamée dans les années soixante. Le reste des reliefs, plus de 80% de la zone étudiée sont des terrains nus.

La croissance démographique galopante et les besoins d'habitats ont conduit à un peuplement des versants et une densification très importante en termes d'habitats individuels, ce qui s'est traduit par une consommation importante et irrationnelle des terrains, de même qu'elle a engendré des mutations dans les activités de la région, aggravée avec les programmes d'aide de construction d'habitats.

L'analyse des éléments, physiques et anthropiques du milieu étudié nous a permis de voir que l'environnement dans cette zone a subi d'importantes modifications morphologiques se traduisant par des pertes en sols de l'ordre de 3000 t/km²/an, une valeur supérieure aux normes universelles.

Quant aux leçons et aux synthèses tirées du deuxième chapitre, nous relevons celles qui relèvent de l'identification des principales formes d'érosion développées dans cette zone, responsables des pertes en sols, comme celles du ravinement ou celles qui relèvent du décapage des sols. Et pour bien identifier ces formes d'érosion, plusieurs méthodes qualitatives et quantitatives furent appliquées, à côté de l'application de certaines formules empiriques, dont l'objectif est d'atteindre et de proposer des modèles de calcul et de quantification de l'érosion. Ceci en plus de l'exploitation des données numériques, l'analyse comparative diachronique des photos aériennes, d'imageries satellitaires et de documents cartographiques.

A titre d'exemple, l'emploi d'un certain nombre de formules empiriques, basées sur le calcul des débits solides, pour la quantification de l'érosion a révélé des valeurs divergentes, mais malgré cela, le taux d'érosion est alarmant voir catastrophique. La valeur de l'érosion obtenue selon la relation de

GAVRILLOVIC, qui est de 2908 t/km²/an, cette valeur a été comparée avec celle mesurée au niveau du barrage d'Ighil Emda qui est égale à 2891 t/km²/an, la correspondance des deux valeurs a fait que, nous avons adopté cette formule qui s'adapte le mieux avec les données de notre bassin versant.

L'examen d'une série de photos aériennes diachroniques (1960-2008) a révélé qu'un changement très important s'est opéré à l'échelle du bassin versant, mais surtout, cette évolution morphologique est traduite au niveau des Oueds par l'exhaussement des lits et l'élargissement des berges causé par le sapement.

Les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis d'acquérir une bonne connaissance du milieu étudié et de dresser un bilan environnemental pour cette zone. Une banque de données sur le milieu a été créée et structurée, à cet effet, sous la forme d'un Système d'Informations Géographiques (SIG).

Il s'avère clairement, selon les résultats obtenus et l'enquête de terrain effectuée, que la zone d'étude du bassin versant du Barrage de Ighil Emda subit un changement et une mutation importante, parfois négative et irréversible. Ceci est perceptible à travers la plupart des paysages de la région étudiée dont la plupart sont défigurés. Le constat s'observe à tous les niveaux par l'état des sols souvent squelettiques et appauvris et l'état du couvert végétal qui ne persiste fréquemment qu'à l'état reliques. C'est une situation qui ne résulte pas seulement des conditions ou des facteurs physiques, mais de la combinaison de ces facteurs avec ceux des conditions anthropiques, particulièrement ceux qui relèvent des techniques et des spéculations agricoles pratiquées dans cette région.

Aujourd'hui, les paysages de la région tendent et glissent vers une situation de déséquilibre, si on ne prend pas au sérieux cette situation, on aura à faire à un environnement plus hostile et répulsif. D'autant plus, les ressources, surtout hydriques, se raréfient de plus en plus, et même les SAU ne cessent de diminuer et il faut s'attendre aussi à des problèmes socio économiques plus complexe auxquels on ne pourra envisager des solutions.

A la lumière des analyses faites, et les conclusions tirées, il est devenue une priorité majeur de se préparer et se mobiliser massivement pour lutter contre l'érosion qui met au péril « la ressource sol » pour les futures générations.

Le plan d'action consiste à intégrer l'opération de restauration et de lutte, contre la dégradation du milieu, dans une politique d'aménagement globale.

Il sera plus efficace de réunir tous les éléments ayant le pouvoir de fournir des solutions adéquates, réduire au minimum l'impact des facteurs d'érosion.

les outils employés et les approches adoptées, dans cette étude, ont permis d'asseoir une méthodologies globale pour aborder une thématique et une problématique telle soulevée dans notre région. Des connaissances et des enseignements approfondis du milieu physique de notre zone d'étude ont été acquis lors de l'évolution de ce travail, surtout ceux ayant rapport avec la géologie, la géomorphologie, la morpho-dynamique et les tendances évolutives de la dynamique morphologique du milieu.

Les approches adoptées dans cette étude, à savoir : la cartographie géomorphologique, la quantification et la modélisation du phénomène érosif, ainsi l'étude diachronique ont montré l'existence d'une cohérence entre elles, ils se complètent mais aussi elles enrichissent l'étude en termes de résultats.

L'étude menée sur le bassin versant est réalisée dans la limite des moyens et techniques disponibles au moment du développement du travail, on aurait souhaité pousser l'étude et atteindre des objectifs et résultats plus tangibles en exploitant les techniques modernes telles que la géodésie spatiales et la géophysique.

Bibliographie

AFFOUN. Samia, 2006 : Ressources en eaux, mobilisation et utilisation dans le bassin versant de LA MAFRAGH. Mémoire de magister, université de Constantine.

AHMED BOUGHERARA - 1987 : L'Erosion actuelle dans le Tell algérien : le cas du bassin versant de l'oued Agrioun. Thèses. Doctorat, Université d'Aix en Provence.

ANDRE MUSY, CHRISTOPHE HIGY. 2004 : Hydrologie- Une science de la nature. PPUR presses polytechniques.

DEMMAK, A. (1982) : Contribution à l'étude de l'érosion études transports solides en ALGERIE septentrionale. Thèse de Doctorat. Université de Paris VI

Eric ROOSE, Rachid CHEBBANI, Lakhdar BOUROUGAA 2000 : Ravinement en Algérie. Typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. Revue Sécheresse. Volume 11, Numéro 4, 317-26.

François Anctil, Jean Rousselle, Nicolas Lauzon .2005 : Hydrologie ; cheminements de l'eau. Presses inter Polytechnique.

FREDERIC LIEBAULT. 2003 : Les rivières torrentielles des montagnes drômoises : évolution contemporaine et fonctionnement géomorphologique actuel (massifs du Diois et des Baronnies). Thèse de Doctorat, Université Lumière Lyon 2

GILLES GARITTE, PHILIPPE LAHOUSSE, LUCAS THENARD ET PIERRE, GIL SALVADOR NUMERO 4/2007 (2008) : Évolution contemporaine de l'activité torrentielle sur les cônes de déjection de la basse vallée de la Clarée (Briançonnais, Alpes françaises du Sud). Revue Géomorphologie - relief, processus, environnement

GLAÇON, J 1967 : Recherches sur les gites métallifère du tell sétifien , Bult de service de carte géol, Algérie, n° 32.

GOUAIDIA LAYACHI.2008 : Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico –chimiques des eaux d'une nappe en zone semi aride, cas de la nappe de meskiana nord-est algérien. Thèse de Doctorat Université d'Annaba

JACQUES GRECO - 1966 : L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie

JEAN TRICART - André Callieux1993 Volume 42 : Revue de géomorphologie dynamique,

JEAN TRICART, MICHEL ROCHEFORT, SYLVIE J. RIMBERT - 1967 : Initiation aux travaux pratiques de géographie (commentaires de cartes)

JEAN TRICART. 1965 : Principes de réalisation des cartes géomorphologiques détaillées, Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire - Volume 2 - Numéro 1

JEAN TRICART ; JOLY FERNAND 1972 : Carte géomorphologique détaillée de la France au 1/50 000. Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire, Volume 9, Numéro 3

JEAN-LOUIS BALLAIS, SYLVAIN CHAVE, NADIA DUPONT, ÉRIC MASSON ET MARIE-JOSEE PENVEN. MARS 2011 : La méthode hydro géomorphologique de détermination des zones inondables. physio-géo géographie physique et environnement (issn 1958-573x).

JOLY, FERNAND.1988 : Carte géomorphologique de la France au 1 : 1 000 000 (quart Nord-Est.Montpellier, Maison de la Géographie, Collection RECLUS modes d'emploi, no 13.

KIRECHE.o (1993) : Evolution géodynamique de la marge tellienne des magribides d'après l'étude du domaine parautochtone schistosé (Massif du Chélif et d'Orani, de Blida- Boumaad, des Babors et des Bibans). Thèse de doctorat ès sciences USTHB IST, Alger

KRIMIL FARIDA, 2009 : Essai de modélisation de la gestion du barrage de Foum El Gherza (W. DE BISKRA).Thèse de magistère Université de Batna.

LARUE JEAN-PIERRE, 2001 : la morphogenèse accélérée menace-t-elle les régions rurales de l'ouest du bassin parisien ? Géodynamique des milieux naturels et de l'environnement, Université de Paris XII-Val de Marne, 94010 Créteil, Cedex, France

M. ROCHE. 1963 : Hydrologie de surface. Office de la recherche scientifique et technique d'outre-mer -(paris) Gauthier-Villars éditeur paris

MARC COTE (1999). Mutations rurales en Algérie (2 volumes), Cnrs

MEBARKI A, 2005, Hydrologie des bassins de l'Est Algérien : Ressource en eau, Aménagement et environnement, Thèses de doctorat, Université de Constantine.

MESLI AÏDA 2011 : évolution du littoral des Traras orientales autour de Rachgoun
« Evolution géomorphologique, morphodynamique et perspective de lutte contre l'érosion »

NICOLLE MATHYS, JEAN POESEN 2005 : Ravinement en montagne - processus, mesures, modélisation, régionalisation: Revue de Géomorphologie, relief, processus, environnement, 2005, n° 1, p. 3-6

OBERT.D 1981 : Etude Géologique des Babors orientaux (Tell Algérien). Thèse de Doctorat ès Sciences naturelle, Université de pierre et Marie curie Paris 6.

ORGM (2000-2004) : Rapport d'étude sur la recherche réalisée par l'équipe de Sétif sur le projet de Kherrata.

ORGM. 1977 : Notice explicative de la carte géologique de Sétif 1/200000, N° 0-3-4, SONATRACH (division exploration).

ROTHE .R1950 Paris : Annales de géophysique, institut de physique de globe, Université de Strasbourg, Cnrs

RERBOUDJ ABDELMALEK 2005 : Essai de quantification de l'érosion et perspective de protection du barrage de fontaine des Gazelles contre l'envasement, Thèse de magistère Université de Batna

ROGER LAMBERT 1996 : Géographie du cycle de l'eau. Presses Université. Du

Liste des figures

Figure 1 : Présentation, situation géographique et limites du bassin versant du Barrage de Ighil Emda.....	10
Figure 2 : Sous bassin versant élémentaires du bassin versant du barrage de Ighi Emda.....	11
Figure 3 : Grille d'Altitude (MNT) dérivée de cartes Topographique digitalisées	16
Figure 4: Vue Tridimensionnelle des reliefs du bassin versant d'Ighil Emda.....	16
Figure 5: Extrait de Cartes topographiques 1 :200000 couvrant le bassin versant.....	17
Figure 6: Carte des pentes du bassin versant du Barrage de Ighil Emda.....	20
Figure 7 : Classes de pentes par superficie.....	20
Figure 8 : Extrait de la carte géologique Feuilles de kherrata et Ain Roua	24
Figure 9: Légende, schéma structural simplifié et coupe géologique.....	25
Figure 10: Colonne lithostratigraphique des unités structurales de la zone d'étude.....	26
Figure 11: Les ensembles morphostructuraux des Babors et du tell nord sétifien	29
Figure 12 : Couverts végétaux du bassin versant.....	34
Figure 13: Répartition mensuelle des températures	37
Figure 14: Corrélacion des données pluviométriques à la station de Amoucha	39
Figure 15: Corrélacion des données pluviométriques à la station de Ain Roua	39
Figure 16: Corrélacion des données pluviométriques à la station de Tizi N'Brahem	39
Figure 17: Polygone de Thiessen.....	42
Figure 18: Variation interannuelle des précipitations du Bassin versant d'Ighil Emda.....	43
Figure 19: Répartitions mensuelles des Précipitations annuelles	45
Figure 20: Ajustement statistique des Pan à la station de Ain Roua.....	48
Figure 21: Ajustement statistique des Pan à la station de Amoucha	48
Figure 22: Ajustement statistique des Pan à la station de Ighil Emda.....	49
Figure 23: Ajustement statistique des Pan à la station de Tizi Brahem	49
Figure 24: Ajustement statistique des PjMax à la station Tizi Nbrahem	50
Figure 25: Ajustement statistique des PjMax à la station d'Ain Roua	51
Figure 26: Ajustement statistique des PjMax à la station Amoucha.....	51
Figure 27: Nombre de jours d'apparition par an de gelé.....	53
Figure 28: Nombre de jours d'apparition par an de grêle	53
Figure 29: Nombre de jours d'apparition par an d'Orage	53
Figure 30: Nombre de jours d'apparition par an de siroco.....	53
Figure 31 : Evolution de l'évaporation en fonction des précipitations sur quelques barrages algériens.....	54
Figure 32: Répartition mensuelle de l'évaporation au barrage d'Ighil Emda.....	54
Figure 33: Courbe Ombrothermique à la station de sétif	55
Figure 34: Le graphique de STEWART (1969, 1974),	56
Figure 35 : Réseau hydrographique du bassin versant de Ighil Emda.....	57
Figure 36 : Exemple de réseau parallèle développé sur une zone faillée (Dj Mentanou).....	59
Figure 37 : Bassin Versant représentatif de l'étude de la cartographie et de l'évolution géomorphologique	64
Figure 38: Nature lithologique des versants.....	67
Figure 39 : Principales Subdivisions morphologiques d'Oued Etteba	68
Figure 40 : première partie de Oued Etteba.....	69
Figure 41: Deuxième partie de ouedEtteba	70
Figure 42: Troisième partie d'Oued Etteba	71
Figure 43: quatrième partie de Oued Etteba	72
Figure 44 : Formations de cône de déjection	73
Figure 45 : Epanchage de cône de déjection	73
Figure 46: Ravinement généralisé.....	74
Figure 47: Bad Land	74
Figure 48 : Mouvements de masse.....	75
Figure 49 : Eboulis de pente.....	76
Figure 50: Erosion hydrique.....	77
Figure 51: Ajustement statistique des apports liquides annuels à loi de Gumbel.....	82

Figure 52: Erosion spécifique en fonction du coefficient de torrentialité au niveau de quelques barrages (Bge) et stations hydrométriques (Sta.); selon A. Husson (1975).....	90
Figure 53 : Photo aérienne prise en 1960	97
Figure 54: Photo aérienne prise en 1998	97
Figure 55 : Image Satellite prise en 2002.....	98
Figure 56: Image Satellite prise en 2008.....	98
Figure 57: Communes appartenant au bassin versant du Barrage de Ighil Emda	102
Figure 58: Habitats du bassin versant du Barrage de Ighil Emda	103

Liste des tableaux

Tableau 1 : Récapitulatif des caractéristiques du bassin versant du barrage de Ighil Emda et ses sous bassins versants élémentaires.....	11
Tableau 2 : Répartition des superficies par degré de pente.....	19
Tableau 3 : caractéristiques des pentes du bassin versant et ses sous bassins versants élémentaires ..	20
Tableau 4: Les températures à la station de Sétif (° C).....	36
Tableau 5 : Coordonnées géographique Lambert des stations pluviométriques	37
Tableau 6 : Caractéristiques pluviométriques interannuelles (1969-2007).....	41
Tableau 7 : Caractéristiques pluviométriques annuelles du bassin versant	42
Tableau 8 : Données de surface de polygones de Thiessen	43
Tableau 9 : Ecart à la moyenne des pluies annuelles	44
Tableau 10 : Données pluviométriques moyennes mensuelles interannuelles (69/07)	45
Tableau 11 : Caractéristiques des pluies maximales journalières, source ANRH (1969 -2007).....	46
Tableau 12: Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences à la station de Ain Roua.....	48
Tableau 13: Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences à la station de Amoucha	48
Tableau 14: Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences à la station de Ighil Emda....	49
Tableau 15: Précipitations moyennes annuelles de différentes fréquences à la station de Tizi Nbrahem	49
Tableau 16: Précipitations journalières maximales de différentes fréquences à la station de Tizi Nbrahem	50
Tableau 17: Précipitations journalières maximales de différentes fréquences à la station de Ain Roua ..	51
Tableau 18: Précipitations journalières maximales de différentes fréquences à la station de Amoucha ..	51
Tableau 19: Coordonnées des postes d'observations des phénomènes secondaires	52
Tableau 20: Nombre de jours d'apparition de caractéristiques climatiques secondaires.....	52
Tableau 21: Evaporation au niveau du barrage d'Ighil Emda (1946-53).	53
Tableau 22 : Caractéristiques morphométriques du réseau hydrographique du bassin versant étudié ...	59
Tableau 23: Apports liquides d'oued Agrioun (Bassin versant du barrage de Ighil Emda).....	82
Tableau 24 : Modules caractéristiques en hm ³ pour des périodes de récurrences données.....	83
Tableau 25 : cumul des apports liquides interannuel estimé en Hm ³ pour les quatre sous bassin versants	83
Tableau 26 : données des sédiments du barrage pour les campagnes de (1982 à 1984).....	86
Tableau 27 : données des sédiments du barrage lors des campagnes de (1974 à 1981).....	86
Tableau 28 : données des apports solides (campagnes, 1953/54, 54/55 et 55/56).	86
Tableau 29 : données de l'envasement et de soutirage du barrage	87
Tableau 30 : valeurs moyennes de l'envasement et de soutirage du Barrage de Ighil Emda	87
Tableau 31: Apports solides obtenues pour le sous bassin versant de O.Elbarede.....	91
Tableau 32: Apports solides obtenues pour le sous bassin versant d'O.Ettaba	91
Tableau 33: Apports solides obtenues pour le sous bassin versant d'O.M'Barek	91
Tableau 34 : Apports solides obtenues pour le sous bassin versant d'O.Takerboust.....	92
Tableau 35: Apports solides obtenues pour le sous bassin versant du barrage de Ighil Emda.....	92

Liste des photos

Photo 1: Crêt.....	66
Photo 2: Barre rocheuse.....	66
Photo 3: Mont dérivé Djebel Tisit.....	66
Photo 4: Charnière anticlinale	66
Photo 5: Escarpement de ligne de faille	66
Photo 6 : Faille décrochant	66
Photo 7: Fond et éléments d'oued à Dradra aval.....	69
Photo 8: Fond et éléments d'oued à Amont de El Hraich.....	69
Photo 9: Fond et éléments d'oued juste à l'aval d'Elhraich	70
Photo 10: Fond et éléments d'oued juste à l'amont de Sidi Bjr	70
Photo 11: Fond et éléments d'oued à 350 m amont de ouled n'seur	71
Photo 12: Fond et éléments d'oued à 200 m amont de ouled n'seur	71
Photo 13 : Divagation des apports de l'oued	72
Photo 14: inondation du fond d'oued,.....	72
Photo 15: Matériaux du cone de déjection de ouled fadhel.....	73
Photo 16: Profil transversal du cône de déjection de Bouherou.....	73
Photo 17: Glissement (Masse Amont en mouvement)	75
Photo 18: Solifluxion	75
Photo 19: Eboulis de pente.....	76
Photo 20: Sapement des Berges.....	77
Photo 21: Sapement et Appel au vide	77
Photo 22: FS du plateau	78
Photo 23: FS de pente	78
Photo 24: FS alluviale de terrasses évoluées	79
Photo 25: FS alluviale de terrasses peu évoluées.....	79
Photo 26: Deux terrasses évoluées emboîtées « Dradra amont »	79
Photo 27: Une Terrasse peu évoluée « Dradra amon »	79
Photo 28: Terrasse avec dépôt corrélatif	80
Photo 29 Ligne électrique traversant l'Oued Etteba (Vue Transversale)	99
Photo 30 : Mesure de hauteur de la ligne électrique (1.3 m).....	99
Photo 31 : Vue de loin du fond d'oued et la ligne électrique.....	100
Photo 32 : Vue de près du fond d'oued et la ligne électrique	100

ANNEXE

01- FORMULES DE CALCUL DES CARACTERISTIQUES MORPHOMETRIQUES

LARGEUR MOYENNE

La largeur moyenne du BV [l moy] est calculée selon la relation:

$$l_{moy} = \frac{S}{L}; \quad [\text{km}] \quad (1)$$

LES CARACTERISTIQUES DE FORME

COEFFICIENT DE FORME

$$C_a = \frac{L^2}{S} \quad [\text{adimensionnel}] \quad (2)$$

INDICE DE COMPACITE

L'indice de compacité (I c) est estimé selon la relation:

$$I_c = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad [\text{adimensionnel}] \quad (3).$$

RECTANGLE EQUIVALENT

Longueur :

$$l_{re} = \frac{I_c \sqrt{S}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{I_c} \right)^2} \right], \quad [\text{km}] \quad (4)$$

Largeur :

$$l_{re} = \frac{I_c \sqrt{S}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{I_c} \right)^2} \right], \quad [\text{km}] \quad (5)$$

L'écartement entre deux courbes de niveau consécutives se calcule selon l'expression:

$$L_i = (L_{re} S_i) / 100, \quad [\text{Km}] \quad (6)$$

LES CARACTERISTIQUES DE RELIEF

LES ALTITUDES CARACTERISTIQUES

H min et H max : Elles sont obtenues directement à partir de cartes topographiques, Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente

H médiane : Correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.

ALTITUDE MOYENNE

L'altitude moyenne (Alt_{moy}) se calcule à l'aide de l'expression ci-après:

$$Alt_{moy} = \frac{\sum S_i \bar{A}_i}{S} \quad [m] \quad (7)$$

Où, \bar{A}_i est l'altitude moyenne de l'aire S_i comprise entre deux courbes de niveau consécutives

S_i : la surface d'une tranche d'altitude

S : La surface totale du bassin versant

PENTE BRUTE

$$0,1 * ((H_{max} - H_{min}) / L)$$

H_{max} : Altitude maximale

H_{min} : Altitude minimale

L : Longueur du talweg principal

PENTE MOYENNE

$$P_{moy} = \frac{\delta h \left(\frac{l_0 + l_n}{2} + l_1 + l_2 + \dots + l_{n-1} \right)}{S} \quad (8)$$

Où, δh est l'équidistance en mètres (m) entre deux courbes de niveau successives;

$l_0, l_1, \dots, l_{n-1}, l_n$ représentent les longueurs des courbes de niveau en km, mesurées sous SIG

La méthode proposée par Carlier et Leclerc (1964) consiste à calculer la moyenne pondérée des pentes de toutes les surfaces élémentaires comprises entre deux altitudes données. Une valeur approchée de la pente moyenne est alors donnée par la relation suivante

$$P_{moy} = D L / A \quad (9)$$

i_m : pente moyenne [m/km ou 0/00],

L : longueur totale de courbes de niveau [km],

D : équidistance entre deux courbes de niveau [m],

A : surface du bassin versant [km²].

INDICE DE PENTE DE ROCHE

L'Indice de Pente de Roche (I_p) se calcule à l'aide des relations qui suivent:

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_1^n \sqrt{\beta_i (a_i (a_i - 1))} \quad (9)$$

$$\beta_i = \frac{(a_i (a_i - 1))}{L_i} \quad (10)$$

Où a_i , sont les côtes des courbes de niveau;

L_i , l'écartement entre les courbes de niveau .

β_i – Dénivelée partielle.

L : $\sum L_i * 1000$

DENIVELEE SPECIFIQUE DS

$$DS = D^*(1/Lre)^{1/2} \quad (11)$$

Type de relief	Ds
R1 Relief très faible	DS<10m
R2 Relief faible	10m<DS<25m
R3 Relief assez faible	25m<DS<50m
R4 Relief modéré	50m<DS<100m
R5 Relief assez fort	100m<DS<250m
R6 Relief fort	250m<DS<500m
R7 Relief très fort	DS>500m

02- FORMULES DE CALCUL DES CARACTERISTIQUES DU RESEAU HYDROGRAPHIQUE

LA PENTE MOYENNE D'UN COURS D'EAU

$$I_{moy} = \frac{H_{max} - H_{min}}{L} \quad (12)$$

I_{moy} : pente moyenne du cours d'eau [m/km] ;

H_{max} et H_{min} sont les altitudes maximales et minimales du thalweg le plus long

L : longueur du cours d'eau principal [km]

LE DEGRE DE DEVELOPPEMENT DU RESEAU

LA DENSITE DE DRAINAGE

La densité de drainage, introduite par Horton, est la longueur totale du réseau hydrographique par unité de surface du bassin versant :

$$D_d = \frac{\sum L_i}{S} \quad [\text{km}/\text{km}^2] \quad (13)$$

D_d : densité de drainage [km/km²] ;

L_i : longueur de cours d'eau [km] ;

A : surface du bassin versant [km²].

La densité de drainage dépend de la géologie (structure et lithologie) des caractéristiques topographiques du bassin versant et, dans une certaine mesure, des conditions climatologiques et anthropiques

LA DENSITE HYDROGRAPHIQUE

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \quad (14)$$

Où :

F : densité hydrographique [km⁻²] ;

N_i : nombre de cours d'eau ;

A : superficie du bassin [km²].

Il existe une relation assez stable entre la densité de drainage Dd et la densité hydrographique F, de la forme

LE COEFFICIENT DE TORRENTIALITE

(Ct) est calculé à l'aide de l'équation:

$$C_t = D_d F_1, \quad [\text{Adimensionnel}] \quad (15)$$

F1 : est le rapport entre le nombre de thalwegs d'ordre 1 et la surface globale du Bassin versant

Dd : est la densité du drainage

LE RAPPORT DE CONFLUENCE

$$\text{Loi des nombres : } R_c = N_n / N_{n+1} \quad (16)$$

$$\text{Loi des longueurs : } R_l = L_n / L_{n-1} \quad (17)$$

Rc : rapport de confluence des cours d'eau ("bifurcation ratio") ;

RL : rapport des longueurs des cours d'eau ;

n : ordre d'un cours d'eau n varie entre 1 et w (w est l'ordre du cours d'eau principal, classification selon Strahler) ;

Nu : nombre des cours d'eau d'ordre n ; Nu+1 : nombre des cours d'eau d'ordre suivant ;

Lu : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre u ;

2.1.1.1. LE TEMPS DE CONCENTRATION de GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{h}} \quad (18)$$

Tc : Temps de concentration

S : est la surface totale du bassin versant

L : La longueur du talweg principal

h : est la différence entre l'altitude moyenne et celle de l'exutoire, en mètre

03- FORMULES EMIRIQUES D' ESTIMATION DES APPORTS ANNUELS DES OUEDS

RELATIONS DE COUTAGNE (1948)

$$L_e = 1,024(P_A - 0,26)^2 \quad (19)$$

$$L_e = (0,164 - 0,00145\sqrt{s})P_A \quad (20)$$

RELATION DE SAMIE (1956)

$$L_e = 0,736(P_A - 0,232)^2 \quad (21)$$

RELATION DE CHAUMONT (1963)

$$L_e = SP_a \left(1 - 10^{-kP_a^2}\right) \quad (22)$$

$$k = a - 0,01 \lg S \quad (23)$$

Et où a est un coefficient dépendant des conditions d'écoulement, il est égal à 0,20 (dans les régions à écoulement favorable : Géologie imperméable, terrain nu et avec fortes pentes,...) et à 0,175 (dans les régions à écoulement défavorable : grande perméabilité, interception par les forêts).

LgS : logarithme de la superficie.

RELATION DE PADOUN (1973)

$$q = K_h (0,0019 P_a)^{3,57} \quad (24)$$

K_h est coefficient dépendant de l'altitude, il est tabulé ci-après :

Coefficient K_h dans la relation de Padoun

Altitude (m)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
K_h	1	1.03	1.06	1.09	1.12	1.15	1.18	1.21	1.24	1.28
Altitude (m)	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	-
K_h	1.32	1.36	1.40	1.44	1.49	1.54	1.59	1.64	1.70	-

$$C_v = \frac{0,93}{q^{0,23}} \quad (25)$$

RELATION DE DERI (1977)

DERI (1977) présente plusieurs relations d'évaluation des apports liquides, nous avons retenu trois d'entre elles:

$$V = 0,915 P_a^{2,684} S^{0,842} \quad (26)$$

$$V = 0,31 P_a^{3,032} S^{1,016} \quad (27)$$

$$q = 11,8 P^{2,82} \quad (281)$$

RELATION DE SAIDI (1990)

SAIDI, enrichissant l'échantillon utilisé par l'auteur précédent propose les deux expressions suivantes:

$$q = 13,23 P_a^{2,27} \quad (29)$$

$$C V_q = 2,82 C V_p^{1,11} \quad (42)$$

où CV_q et CVP étant respectivement les coefficients de variation des apports et des précipitations