



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université de Larbi Tébessi –Tébessa-

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : **Sciences De La terre**

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences géologie

Option : géotechnique de l'ingénieur

Evaluation multi-paramètre de la susceptibilité des terrains de sous bassin versant l'oued BOUSELLAM AMONT

Présenté par :

Melle. CHERIET malak

Melle. NOURI Ikram

Devant le jury:

Dr. Baali fethi

MCB U. de Tébessa

Examinatrice

Dr. fahdi chamseddine

Pr U. de Tébessa

Présidente

dr. ATMANIA Djamel

MAA U. de Tébessa

encadreur

Date de soutenance : 14/06/2020

Note :

Mention



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique



Université de Larbi Tébessi –Tébessa-

Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département : **Sciences De La terre**

MEMOIRE

Présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences géologie

Option : géotechnique de l'ingénieur

Evaluation multi-paramètre de la susceptibilité des terrains de sous bassin versant l'oued BOUSELLAM AMONT

Présenté par :

Melle. CHERIET malak

Melle. NOURI Ikram

Devant le jury:

Dr. Baali fethi

MCB U. de Tébessa

Examinatrice

Dr . fahdi chamseddine

Pr U. de Tébessa

Présidente

dr. ATMANIA Djamel

MAA U. de Tébessa

encadreur

Date de soutenance : 14/06/2020

Note :

Mention

ملخص

ABSTRACT

RÉSUMÉ

ملخص

بهدف تحسين استغلال الموارد المائية السطحية لبلد كبير مثل الجزائر ، و التسيير الجيد لهذه الثروة المائية ، والحفاظ عليها من الزوال ، وجب علينا الدراسة والتدقيق المكثف للإلمام بكل العوامل الطبيعية المباشرة والغير مباشرة التي تتعلق بمردود المشاريع , من أجل الحصول على نتائج مرضية وهادفة، تختصر علينا حلول بناءة، سريعة ودائمة في هذا المجال، لا نختصر بالذكر الاستفادة فقط، بل أيضا حماية الطبيعة المجاورة لهذه التجمعات المائية من الإتلاف والفساد بسبب عوامل تآكل التربة السطحية ، التي تحدثها هذه الظاهرة الطبيعية.

في موضعنا هذا تتضمن هذه الدراسة تحليلا مفصلا للعوامل الطبيعية الأساسية المسببة لظاهرة تآكل التربة, بواسطة المياه السطحية على مستوى حوض بوسلام , كما نذكر ان هذه الدراسة تخضع لمنهجية علمية تقوم على أسلوب قياسي متفق عليه يعتمد على الخرائط الرقمية ، التي تنشأ من جمع البيانات الجغرافية على مستوى أداة نظم المعلومات الجغرافية .

سمحت لنا العوامل المختارة التي ترتبط بالظروف البيئية ، المتمثلة في المناخ، التربة، التضاريس، والغطاء النباتي، بإنشاء خريطة مختصرة لأربع أقسام متعددة العوامل لحساسية التربة بواسطة المياه السطحية (منخفضة 21,49 % ,متوسطة 31,38% ، عالية 27,08% , وأخيرا عالية جدا 20,09%) .

Abstract

In order to improve the exploitation of surface water resources of a large country like Algeria, and the good management of this water wealth, and to preserve it from its disappearance, it is necessary to study and scrutinize familiarity with all direct and indirect natural factors linked to project feedback, in order to obtain satisfactory and thoughtful results, which can be summed up on us Constructive, rapid and lasting solutions in this area, we not only mention the advantages, but also protect the surrounding nature of these bodies of water damage and corruption due to factors of erosion of surface soils, caused by this natural phenomenon.

n this context, this study includes a detailed analysis of the basic natural factors that cause the phenomenon of soil erosion by surface water at the level of the Abu Salam basin. We also mention that this study is subject to a scientific methodology based on an approved standard method based on digital maps, from the collection of geographic data on GIS tool level.

Certain factors related to environmental conditions, such as climate, soil, terrain and vegetation, allowed us to create a brief map of four multifactorial sections of soil sensitivity by surface water(Low 21.49%, medium 31.38%, high 27.08% and ultimately very high 20.09%).

Résumé

Afin d'améliorer l'exploitation des ressources en eau de surface d'un grand pays comme l'Algérie, et la bonne gestion de cette richesse en eau, et pour la préserver de sa disparition, il faut étudier et scruter la familiarité avec tous les facteurs naturels directs et indirects liés aux retours des projets, afin d'obtenir des résultats satisfaisants et réfléchis, qui se résument sur nous Des solutions constructives, rapides et durables dans ce domaine, nous ne mentionnons pas seulement les avantages, mais protégeons également la nature environnante de ces plans d'eau des dommages et de la corruption dus aux facteurs d'érosion des sols de surface, causés par ce phénomène naturel.

Dans ce contexte, cette étude comprend une analyse détaillée des facteurs naturels de base qui provoquent le phénomène d'érosion des sols, par les eaux de surface au niveau du bassin d'Abou Salam. Nous mentionnons également que cette étude est soumise à une méthodologie scientifique basée sur une méthode standard agréée basée sur des cartes numériques, issues de la collecte de données géographiques sur Niveau outil SIG.

Certains facteurs liés aux conditions environnementales, tels que le climat, le sol, le terrain et la végétation, nous ont permis de créer une brève carte de quatre sections multifactorielles de la sensibilité du sol par les eaux de surface (Faible 21,49%, moyen 31,38%, élevé 27,08% et finalement très élevé 20,09 %).

Remerciement

Mes remerciements s'adressent à :

Monsieur le Docteur A . Djamel

Nous vous remercions pour la gentillesse et la spontanéité avec lesquelles vous avez bien voulu diriger ce travail.

Monsieur le Docteur G . SADDAM

Nous vous remercions pour la grande aide et les efforts considérables de votre part pour mener à bien cette travaille

Je voudrai également remercier les membres de mon jury :

Monsieur le professeur F. CHEMSEDDINE ET Monsieur le Docteur B.FETHI

Nous sommes Très Honoré De Vous avoir comme président du jury de notre thèse. Nous avons eu le grand plaisir de travailler sous votre direction .

et finalement Je voudrai également remercier La source d'inspiration, l'icône de la discipline, le grand professeur Monsieur **Amor DEGAICHIA**

A MA TRÈS CHÈRE MÈRE :

Affable, honorable, aimable : Tu représentes pour moi le symbole de la bonté par excellence, la source de tendresse et l'exemple du dévouement qui n'a pas cessé de m'encourager et de prier pour moi. Ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études. Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices que tu n'as cessé de me donner depuis ma naissance, durant mon enfance et même à l'âge adulte. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je te dédie ce travail en témoignage de mon profond amour. Puisse Dieu, le tout puissant, te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur.

A MON TRÈS CHER PÈRE :

Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soit-elles ne sauraient exprimer ma gratitude et ma reconnaissance. Tu as su m'inculquer le sens de la responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie. Tes conseils ont toujours guidé mes pas vers la réussite. Ta patience sans fin, ta compréhension et ton encouragement sont pour moi le soutien indispensable que tu as toujours su m'apporter. Je te dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de mon mieux pour rester ta fierté et ne jamais te décevoir. que Dieu le tout puissant te préserve, t'accorde santé, bonheur, quiétude de l'esprit et te protège de tout mal.

A mon cher petit frère iskandar :

Mon cher petit frère présent dans tous mes moments d'examens par son soutien moral et ses belles surprises sucrées. Je te souhaite un avenir plein de joie, de bonheur, de réussite et de sérénité. Je t'exprime à travers ce travail mes sentiments de fraternité et d'amour.

A mon cher Mari Riad :

Pour tout l'encouragement, le respect et l'amour que tu m'as offert, Je te dédis ce travail, qui n'aurait pas pu être achevé sans ton éternel soutien et optimisme.

Tu es un modèle d'honnêteté, de loyauté et de force de caractère.

J'espère te combler et te rendre toujours heureux.

Que dieu réunisse nos chemins pour un long commun serein et que ce travail soit le témoignage de ma reconnaissance et de mon amour sincère et fidèle.

Et aussi à toute sa famille :

À ma deuxième maman Louzza, et mon roi, tonton Mokhtar et Mes chères sœurs Nabila et son mari ismail , Ahed , Lamise , et Mon deuxième frère Aimen (laymona)

Aucune dédicace ne saurait exprimer tout l'amour que j'ai pour vous, Votre joie et votre gaieté me combent de bonheur. Puisse Dieu vous garder, éclairer votre route et vous aider à réaliser à votre tour vos vœux les plus chers.

A MA TANTE Iiham ET MES COUSINES

maison eT djinan :

Je ne trouverai jamais l'expression forte pour vous exprimer mon affection. Trouvez ici l'assurance de mon profond respect et de mon fidèle attachement, Je vous souhaite le bonheur

A tous les membres de ma famille, petits et grands :

Nouara,failla,Rihab,salma,wahiba,naima,salouma,farid,amina,foudil,faten,
anoussa, toboti,sarsoura, douda , nawefel.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

À MES AMIS DE TOUJOURS ikram, yasmine,aida,asma.

En souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble.

Veillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Liste des tableaux :

<i>tableaux</i>	<i>pages</i>
Tableau I. 1:les différentes formes d'érosion hydrique	07
Tableau I. 2:processus de dégradation, causes, les facteurs de résistance du milieu	14
Tableau III.1:Les coordonnées géographiques de la station de Ain zada	42
Tableau III. 2:Répartition altimétrique du sous sous-bassin versant BOUSELLAM AMOANT	46
Tableau III.3:Récapitulatif des altitudes caractéristiques	48
Tableau III.4: Précipitation moyennes mensuelles de la station de Ain Zada (1986-2004	49
Tableau III.5: Récapitulatif des précipitations annuelles au niveau de la station de Ain Zada....2	50
Tableau III.6:Températures, moyennes mensuelles et annuelles (station de ain zada)	52
Tableau II.7:Calcul de l'ETP par la méthode de THORNTHWAITE à la station de Ain Zada.	56
Tableau III.8:Bilan d'eau de Thornthwaite appliqué à la région du sous bassin versant de BOUSELLAM AMOANT	57
Tableau IV.1: classification des pentes	63
Tableau V.2:Classes des pentes et indices attribués selon Roose, 1977	74
Tableau V.3:Classes de sensibilité du couvert végétal à l'érosion	74
Tableau V.4:classes des pluies favorisantes à l'érosion	75
Tableau V.5: Classement des sols en fonction de différentes caractéristiques.....2	87
Tableau V.6: classification des réseau hydrographique	88

. Liste des figures

Figure II. 1	Carte géologique de la région d'étude	19
Figure II.2	Colonne lithostratigraphique du massif de Hadjar Labiod	23
Figure II.3	Log lithostratigraphique de l'écaille inférieure de Djebel Kalaoun	26
Figure II.4	Corrélation des séries typiques de l'ensemble allochtone sud-sétifien	29
Figure II. 5	Carte géologique et structurale de la région	40
Figure III.1	La situation du sous bassin versant l'oued BOUSELLAM AMOANT	43
Figure III.2	: Étude morpho métrique du sous BV de la zone d'étude	44
Figure III.3	Courbe hypsométrique du sous bassin BOUSELLAM AMOANT	46
Figure III.4	Carte hypsométrique du sous bassin versant	47
Figure III .5	Représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles	50
Figure III.6	Évolution des précipitations interannuelles de station d'Ain Zada.	51
Figure III.7	Moyenne des températures mensuelles station d'Ain Zada	52
Figure III .8	Abaque d'indice d'aridité de DEMARTONNE à la région de BOUSELLAM AMOANT	53
Figure III.9	Diagramme ombro-thermique de la région de BOUSELLAM AMOANT	54
Figure III.10	Climatogramme de L.EMBERGER la région de BOUSELLAM AMOANT	55
Figure IV .1	Carte des pentes du sous bassin versant deBOUSELLAM AMONT	63
Figure IV.2	Carte des réseaux hydrographique du sous bassin versant de BOUSELLAM AMONT	65
Figure IV.3	Carte pluviométrique du sous bassin versant de BOUSELLAM AMONT	66
Figure IV.4	Carte litho-stratigraphique du sous bassin versant de BOUSELLAM AMONT	68
Figure IV.5	Carte d'occupation du sol du sous bassin versant de BOUSELLAM AMONT	69
Figure V.1	Carte de pente	73
Figure V. 2	Carte de L'occupation du sol	74
Figure V. 3	Carte de précipitation	75
Figure V.4	Carte de géologie	77
Figure V.5	Carte de Réseau hydrographique	78
Figure V.6	carte de vulnérabilités multifactorielles a l'érosion hydrique du sous bassin de l'oued BOUSELLAM AMOANT	79

<i>Table des matières</i>	
ملخص	
ABSTRACT	
RÉSUMÉ	
ملخص	
Remerciement	
dédicace	
Introduction générale	02
<i>Chapitre I : Recherche Bibliographique</i>	
I 1 Introduction	04
I 2 L'érosion	04
I 2 1 Définition	05
I 2 2 Types d'érosion	05
I 2 2 1 L'érosion éolienne	05
I 2 2 2 L'érosion aratoire ou mécanique sèche	05
I 2 2 3 L'érosion hydrique	05
I 3 L'impact de l'érosion dans différentes régions	08
I 4 Méthodes utilisées pour étudier l'érosion	08
I 4 1 Méthode « Universal Soil Loss Equation » (Wischmeier et Smith)	08
I 4 2 Modèle d'érosion hydrique en milieu semi-aride de forte énergie de relief.....	09
I 4 3 Modèle événementiel « KINematic Runoff and EROsion » (Wahlstrom et al)	09
I 4 4 Modèle « Water Prediction Project » (Bhuyan et al)	10
I 4 5 cartographie de l'aléa « érosion des sols » (Batti)	10
I 4 6 Cartographie de l'aléa « érosion hydrique » (Luneau)	10
I 5 Les principales études de l'érosion en Algérie	11
I 6 les principes facteurs d'érosion	12
I 7 Conclusion	14
<i>Chapitre II : Cadre géologique</i>	
II 1 Introduction	16
II 2 Ensembles litho stratigraphique du Hautes Plaines Sétifiennes	18
II 2 1 Les terrains triasiques et infraliasiques	18
II 2 1 1 Le Trias	18
II 2 1 2 Infralias	20
II 2 2 Ensemble parautochtone et autochtone Hodnéen	20
II 2 2 1 Les formations Jurassiques	21
II 2 2 2 Les formations crétacées	21
II 2 2 3 Le Tertiaire	24
II 2 3 Séries à jurassiques intermédiaires de l'unité inférieure de Djebel Kalaoun	25
II 2 3 1 Jurassique dolomitique	25
II 2 3 2 Le Malm	25
II 2 3 3 Néocomien	25
II 2 4 Ensemble allochtone Sud-Sétifien	27

II 2 4 1 Les formations jurassiques	27
II 2 4 2 Les formations crétacées	27
II 2 4 3 Le Tertiaire	30
II 2 5 La Nappe néritique constantinoise	31
II 2 6 La nappe de Djebel Sattor	31
II 2 6 1 Sénonien supérieur	31
II 2 6 2 Yprésien –lutétien inférieur	31
II 2 6 3 Lutétien supérieur	31
II 2 6 4 Miocène marin transgressif	31
II 2 7 Nappe Djemila	31
II 2 7 1 Sénonien supérieur	32
II 2 7 2 Yprésien-Lutétien inférieur	32
II 2 8 Les formations quaternaires et néogènes peu ou pas tectonisées	32
II 2 8 1 Mio-Pliocène continental	32
II 2 8 2 Le Quaternaire	32
II 3 Aperçu structurale de la région	33
II 3 1 Les chevauchements	34
II 3 2 Les failles	35
II 3 3 Les plis	37
II 3 4 Relation du Trias	37
II 4 Les phases tectoniques	37
II 4 1 La phase atlasique	38
II 4 2 La phase du Miocène basal	38
II 4 3 La phase alpine	38
II 4 4 La tectonique récente	38
<i>Chapitre III : Etude hydro-climatique</i>	
Introduction	42
III 1 Étude du sous bassin versant de l'oued BOUSELLAM AMONT	42
III 1 1 Hydrographie	43
III 1 2 1 Paramètres physiques	44
III 1 2 1 1 Indice de compacité de Gravelius (K_c)	44
III 1 2 1 2 Dimension du rectangle équivalent	45
III 1 2 1 3 indice de relief	45
III 1 2 2 1 Courbe hypsométrique	45
III 1 2 2 2 Les altitudes caractéristiques	47
III 1 2 2 3 Indice de pente globale	48
III 2 Étude hydroclimatique	49
III 2 1 Précipitations	49
III 2 1 1 Précipitations mensuelles	49
III 2 2 Températures	51
III 2 2 1 La série 1986-2004	52
III 2 2 2 L'amplitude thermique annuelle	53
III 2 2 3 Régime climatique	53
III 2 2 3 1 Indice de DEMARTONNE	51
III 2 2 3 2 Diagramme ombro-thermique de GAUSS et BAGNOULS	52
III 2 2 3 3 Classification bioclimatique de L EMBERGER	

III 2 3 Évapotranspiration	56
III 2 3 1 Calcul de l'ETP selon THORNTWAITE	56
III 2 3 2 Bilan hydrique de THORNTWAITE	57
Conclusion	58
<i>Chapitre IV : Cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique</i>	
IV 1 Introduction	60
IV 2 Le facteur de l'érosion hydrique	60
IV 3 Elaboration du SIG l'érosion hydrique de la zone d'étude	61
IV 4 Acquisition des données	61
IV 5 Composition du SIG de La zone d'étude	61
IV 6 Les facteurs d'ordre naturel	62
IV 6 1 La topographie : la carte des pentes	62
IV 6 2 Carte du réseau hydrographique	64
IV 6 3 Les précipitations	65
IV 6 4 Carte lithologique	67
IV 6 5 L'occupation du sol	68
IV 7 Conclusion	70
<i>Chapitre V : Approche cartographique de l'érosion hydrique</i>	
V 1 Introduction	72
V 2 Approche méthodologique	72
V 3 La pondération des facteurs	74
V 3 1 Les pentes	74
V 3 2 L'occupation du sol	75
V 3 3 Les Précipitations	76
V 3 4 La litho-stratigraphie	76
V 3 5 Réseau hydrographique	78
V 4 Combinaison des facteurs	79
V 5 Interprétation générale du résultat	80
V 6 conclusion	81
V 7 Recommandations	81
Conclusion générale	84
Référence bibliographique	

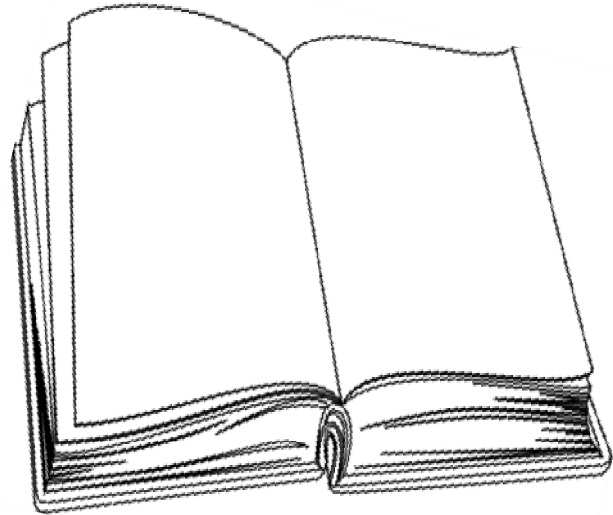
*INROUDICTION
GENERALE*

. parmi les problème environnementaux, on site l'érosion du sol une reprisent une menaçant au pays on voir du développement. Un pourcentage de 65% des sols sur la terre sont confrontés aux phénomènes de dégradation parmi lesquels l'érosion et la désertification. Comme exemple les études préalable ont bien montré qu'au voisinage En Europe, 12% des sols sont en cours d'être menacés par l'érosion hydrique, et 4% par l'érosion du vent. Elle existe également sur 95 millions d'ha de terres en Amérique du Nord et 500 millions d'ha en Afrique (Xinhua, 2002).

Cette évolution de l'érosion au niveau des continents n'est pas divergente dans la plupart des pays parmi lesquels Haïti. Ce dernier, depuis 1950, subit une dégradation continue de son espace rural et de ses ressources naturelles (FAO, 1994). Le morcellement des terres, le déboisement et l'érosion l'ont mené à une situation écologique désastreuse, jugée même irréversible.

Des zones de pente qui devraient être des zones de réserves sont déboisées. Cette situation s'aggrave avec l'insécurité foncière qui sévit à travers tout le territoire haïtien et avec la surpopulation dans les montagnes, qui entraînent la substitution des plantes et des cultures pérennes par des cultures de cycles courts très érosives (Alleyn ,2006).

L'érosion hydrique reste un problème majeur en Algérie Septentrionale dont le principal facteur est le ruissellement dont la répartition spatiale est contrôlée par celles des précipitations, des caractéristiques géologiques et biophysigraphiques (topographie, couvert végétal,...). L'érosion se manifeste principalement sur les sols en pente et constitue une des principales causes de dégradation des sols dans les massifs montagneux en zones semi arides. Elle s'est accélérée suite aux déboisements des forêts et maquis qui protégeaient les sols sensibles. L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest du pays est la plus érodée, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres; suivie du Centre (27%) et de l'Est (26%). L'érosion spécifique varie de 2000 et 4000 t/km²/an et le taux d'envasement est supérieur à 15 %. L'Algérie est, de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion.



CHAPITRE I

Recherche Bibliographique

. I.1 Introduction :

Les études récentes sur la vulnérabilité au changement climatique dans la région méditerranéenne indiquent une tendance à un accroissement à l'aridité qui accélère l'érosion hydrique (Shabban et al, 1998).

L'érosion des sols par la pluie et le ruissellement est un phénomène largement répandu dans les différents pays de la méditerranée. Il continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes à cause de la torrencialité des pluies, de la forte vulnérabilité des terrains (roches tendre ; sols fragiles ; pentes raides et couvert végétal souvent dégradé) et de l'impact défavorable des activités agricoles, selon la FAO (1990), la situation continue à se dégrader ; En Tunisie 45% de la superficie totale est menacée par l'érosion hydrique (Chevalier, 1995 ; Boussama, 1996), au Maroc 40% (Celik, 1996) et en Algérie 45% des zones telliennes sont touchées, soit 12 millions d'hectares (Chebbani, 1999).

Devant l'aggravation des dégâts observés au cours de ces vingt dernières années, de nombreuses recherches sur les processus et les facteurs de l'érosion hydrique ont été engagées.

I.2 L'érosion :**I.2.1 Définition :**

Erosion vient de "ERODERE", verbe latin qui signifie "ronger". L'érosion ronge la terre comme un chien s'acharne sur un os. D'où l'interprétation pessimiste de certains auteurs qui décrivent l'érosion comme une lèpre qui ronge la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette blanchi : les montagnes calcaires qui entourent la Méditerranée illustrent bien ce processus de décharnement des montagnes dès lors qu'on les défriche et que l'on brûle leur maigre végétation (ex. Grèce). En réalité, c'est un processus naturel qui certes, abaisse toutes les montagnes mais en même temps, l'érosion engraisse les vallées, forme les riches plaines qui nourrissent une bonne partie de l'humanité. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable ou tolérable.

L'érosion désigne le déplacement de sol ou de roches sous l'action combinée de la gravité et des éléments naturels tels que le vent, la pluie, le ruissellement de l'eau ou les vagues. Ce phénomène naturel entraîne le transfert progressif de grands volumes de matière depuis l'amont des bassins versants vers l'aval.

Selon Girard et al. (2005), l'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité (Girard et al., 2005). Dans la suite de cette section, les principaux mécanismes et facteurs contribuant au phénomène de l'érosion (en milieu tropical) seront brièvement abordés.

I.2.2. Types d'érosion :

Il y a plusieurs types d'érosion sont dus à l'action de l'eau sur le sol :

I.2.2.1 L'érosion éolienne :

L'érosion éolienne est le principal facteur physique d'épuisement des terres agricoles et, par l'ensablement, constitue une des gênes majeures dans les aires urbaines et oasiennes des écosystèmes secs, engendrant pauvreté et migration pour les populations humaines qui abandonnent stériles pour des terres nouvelles ou pour les villes. (Mainguet Monique).

Le vent exerce sur les particules solides au repos une pression sur la surface exposée au flux d'air, appliquée au-dessus du centre de gravité, auquel s'oppose un frottement centré sur la base des particules. Ces deux forces constituent un couple tendant à faire basculer et rouler les particules lourdes (0,5 à 2 mm), de plus, la différence de vitesse entre la base et le sommet des particules provoque leur aspiration vers le haut. Les particules les plus légères s'élèvent à la verticale jusqu'à ce que le gradient de vitesse ne les porte plus. Elles retombent alors, poussées par le vent, suivant une trajectoire subhorizontale. En retombant, ces grains de sable transmettent leur énergie à d'autres grains de sable (comme dans un jeu de boules) où se dégradent les agrégats limono-argileux en dégageant de la poussière (Heusch, 1988).

I.2.2.2 L'érosion aratoire ou mécanique sèche :

Ce phénomène d'érosion n'est pas dû à l'intervention de l'eau, en fonction de l'intensité du travail du sol, et de la pente et de la cohésion du terrain. Il contient a des plusieurs facteurs sont :

- Le type d'outil
- La fréquence des passages
- La pente

I.2.2.3 L'érosion hydrique :

L'érosion hydrique est un phénomène naturel de dégradation des sols par entraînement de particules de terre. Cette action résulte de la combinaison de plusieurs facteurs naturels et peut être aggravée par l'action de l'homme.

L'érosion hydrique des terres est un processus impliquant le détachement de particules de sol puis leur transport sous l'action de l'eau vers un lieu de dépôt.

L'érosion hydrique est un phénomène complexe, qui menace particulièrement les potentialités en eau et en sol. Elle se définit comme le détachement et le transport de particules de sol de son emplacement d'origine par différents agents vers un lieu de dépôt.



Photo I.1 photo real de l'érosion hydrique

Il existe plusieurs types de l'érosion hydrique :

a. Erosion en nappe :

Elle est caractérisée par une eau de ruissellement sans griffes ou rigoles visibles. Sous l'effet de l'impact des gouttes de pluies (effet splash), les particules sont arrachées et transportées. Ce phénomène est observé sur les pentes faibles où l'eau ne peut pas se concentrer.

Elle se produit par des précipitations brutales (Vitesse de chute $V < 30$ cm/s) et elle provoque l'enlèvement plus ou moins uniforme d'une mince couche ou "nappe" de sol d'un champ lisse en pente faible non protégée. (FAO, 1983)

Dans un premier temps, c'est l'impact des gouttes qui va arracher les particules. La battance des gouttes de pluie va envoyer des gouttelettes dans toutes les directions.

Elle dépend de :

- L'intensité maximale des pluies qui déclenchent le ruissellement
- L'énergie cinétique des pluies qui détachent les particules
- La durée des pluies et/ou l'humidité avant les pluies, c'est à dire l'état du sol.

Les conséquences de l'érosion en nappe sont :

- Le nivellement de la surface du sol.
- La squelettisation des horizons superficiels.
- Le décapage entraînant l'apparition de taches claires.

b. Erosion linéaire, en griffes ou en rigoles(rill-interill) :

Ce type d'érosion intervient à la suite du ruissellement. Dans un premier temps, des flaques se forment. En débordant, les flaques communiquent entre elles et des lignes d'écoulement limitées dans l'espace apparaissent selon la ligne de plus grande pente : selon la profondeur de ces lignes, le vocabulaire employé est différent.

Appellation des lignes d'écoulement (d'après Roose, 1994)	
Profondeur	Appellation
Quelques centimètres	Griffes
>10 cm	Rigoles
10 à 20 cm Quelques mètres de large	Nappe Ravinant
>50 cm	Ravines

Tableau I.1 ; les différentes formes d'érosion hydrique

Conséquences de l'érosion hydrique :

On peut distinguer deux types de conséquences de l'érosion hydrique selon la zone affectée :

En amont : l'érosion provoque la perte de la couche arable, ce qui réduit la fertilité du sol et donc la productivité des cultures, de même elle provoque la destruction de la profondeur du sol

En aval : les conséquences de l'érosion sont plus nombreuses, comme le transport des engrais et des pesticides dans les eaux de ruissellement sous forme dissoute ou particulaire par adsorption. Ce transport peut avoir des effets toxiques sur la qualité de l'eau (potable et d'irrigation) et peut provoquer une eutrophisation (prolifération des plantes aquatiques et perte d'oxygène dissout) des milieux aquatiques.

L'érosion peut accélérer l'envasement des barrages et des retenues en aval ce qui affecte leur capacité à mobiliser les eaux de surface dans un but d'irrigation ou d'alimentation en eau potable par exemple.

I.3.L'impact De L'érosion Dans Différentes Régions :

L'érosion est un problème dont la gravité varie beaucoup d'un site à un autre. Kanwar (1982) a montré au congrès de l'Association Internationale des Sciences du Sol à New Delhi que sur 13.500 millions d'hectares de surface exondées dans le monde, 22 % sont cultivables et seulement 10 % sont actuellement cultivés (soit 1.500 millions d'ha). Ces dix dernières années, les pertes en terres cultivables ont augmenté jusqu'à atteindre 7 à 10 millions d'ha/an, suite à l'érosion, à la salinisation ou à l'urbanisation. A ce rythme, il faudrait trois siècles pour détruire toutes les terres cultivables. L'érosion est donc un problème sérieux à l'échelle mondiale mais il est bien plus préoccupant dans certaines régions du monde, comme c'est le cas au Maghreb et plus particulièrement en Algérie.

En Algérie, L'érosion hydrique affecte de plein fouet les ouvrages hydrauliques, conséquence d'un envasement rapide, face à cet épineux problème l'Algérie tente bien que mal d'y remédier. Cependant des mesures ont été effectuées au niveau de ces ouvrages dans le but de mesurer l'ampleur de ce phénomène qui est l'envasement.

Le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural estime que 14 millions d'hectares de zones de montagne au nord (soit 6 % du territoire national) sont touchés par l'érosion hydrique, 32 millions d'hectares en zones steppiques (soit 13 % de la surface globale du pays) sont directement affectés et/ou menacés par la désertification et 4,1 millions d'hectares de forêts soumises aux menaces des effets des changements climatiques (Mostephaoui et al., 2013).

I.4 Méthodes utilisées pour étudier l'érosion :

Plusieurs méthodes ont été développées pour étudier le phénomène de l'érosion. Dans cette section, les méthodes les plus adaptées au contexte néocalédonien seront brièvement exposées.

I.4.1 Méthode « UniversalSoilLoss Equation » (Wischmeier et Smith) :

Une des méthodes les plus répandues pour estimer l'érosion hydrique est l'Universal SoilLoss Equation (USLE). Cette équation, développée par Wischmeier et Smith en 1978 pour les milieux cultivés, prend en compte les paramètres suivants : l'érosion pluviale, la topographie, la couverture végétale et la protection du sol (Deumlich et al., 2006). Ce modèle

empirique de l'érosion du sol a été révisé (le Revised Universal Soil Loss Equation, RUSLE) (Renard et al., 1997). Cette méthode se base sur les paramètres suivants : l'érosion pluviale, l'érosion du sol, la pente, la couverture du sol et les pratiques qui y sont faites ainsi que les mesures de conservations mises en place (Yue-Qing et al., 2009).

I.4.2 Modèle d'Érosion hydrique en milieu semi-aride de Forte Énergie de Relief (Tidiane et al.) :

Pour limiter la perte d'information causée par l'utilisation de données multi sources, Ouattara et al. (2002) ont combiné les potentiels de ruissellement et la vulnérabilité topographique selon le principe du Modèle de La ma chère et de Guillet (MLG). Afin de décrire les états de surface, un codage systématique basé sur le couvert végétal, le type de sol, sa porosité, l'activité biologique superficielle et la répartition des surfaces élémentaires a été employé. En se basant sur les images SPOT, La ma chère et Guillet ont formé neuf types de surfaces naturelles de référence. Par simple comptage des sites d'observation au sol, des correspondances sont faites entre les classes radiométriques et les surfaces de référence. Toujours en s'inspirant du MLG, les potentiels de ruissellement ont été établis. Ces auteurs ont développé des relations hydro pluviométriques à l'échelle élémentaire grâce à des expériences de simulation de pluie. Pour effectuer la cartographie de l'aléa érosion et de sédimentation, la topographie et l'organisation du réseau de drainage qui collecte les écoulements de l'amont vers l'aval du versant ont été prises en compte. À partir du MNT, la longueur du chemin parcourue par l'eau a été déterminée. D'après cette méthode, plus les risques d'érosion sont forts, plus la vulnérabilité de la surface est forte et plus le potentiel de ruissellement est élevé (Guillet, 1991).

I.4.3. Modèle évènementiel « KINematicRunoff and EROsion » (Wahlstrom et al.) :

Lors d'une étude réalisée à l'Île de Kaho'olawe à Hawaï, Wahlstrom et al. ont aussi appliqué un modèle dédié à l'étude de l'érosion hydrique. Ils se sont concentrés plus spécifiquement sur le ruissellement et la quantité de sédiments transportés à l'occasion d'un épisode pluvieux. Ce modèle évènementiel se nomme KINEROS (KINematicRunoff and EROsion). Selon celui-ci, le bassin versant est représenté par une cascade de parcelles et de canaux. À partir de cette représentation, il est possible de faire une estimation quantitative de l'infiltration, du ruissellement Hortonien (apparaît lorsque les intensités de pluie dépassent la capacité d'infiltration des sols) et de l'érosion. Trois algorithmes sont utilisés : un algorithme

d'infiltration (incluant la conductivité hydraulique à saturation, la quantité de pluie infiltrée cumulée, l'écoulement capillaire net, la porosité et le stock « initial soil water content »), un algorithme de ruissellement (basé sur la hauteur de la lame d'eau ruisselée, des constantes liées à la pente, la rugosité hydraulique et le nombre de Reynolds, la pente de la ligne d'eau et le coefficient de rugosité de Manning) et un algorithme de transport des sédiments (comportant la vitesse de l'écoulement, la vitesse de cisaillement, le diamètre des sédiments, la hauteur de l'eau ainsi que la gravité spécifique du sédiment) (Wahlstrom et al., 1999).

I.4.4 Modèle « Water Prediction Project » (Bhuyan et al.) :

Le ruissellement et les pertes de sol peuvent aussi être évalués à partir d'un modèle nommé Water Erosion Prediction Project (WEPP) (Bhuyan et al. 2002). Ce modèle, développé par Flanagan et Nearing (1995), se base sur de multiples paramètres dont les notions de base de l'infiltration, la surface de ruissellement, la croissance des plantes, les résidus de décomposition, l'hydraulique, le labourage, la consolidation du sol ainsi que les mécanismes d'érosion (Nearing et al., 1989). Afin d'intégrer ce modèle dans les SIG, un outil a été créé. Cet outil, appelé GeospatialModelling of Soil Erosion (GEMSE), est composé de plusieurs bases de données (le climat, le sol et la topographie ainsi que l'occupation du sol) (Baigorria and Romero, 2007).

I.4.5. Cartographie de l'aléa « érosion des sols » (Batti) :

Batti (2005) a, quant à lui, tenté de spatialiser les pluies extrêmes et de cartographier l'aléa « érosion des sols » dans les bassins versants en amont du lagon Saint-Gilles à l'île de la Réunion. Ces études se sont concentrées sur la probabilité qu'il y ait arrachement et transport de particules solides. Pour effectuer la spatialisation des pluies extrêmes, une 26 analyse des données climatiques a d'abord été faite. Par la suite, il a caractérisé des distributions d'intensités extrêmes selon l'approche stochastique. Cette approche se base sur la détermination des Intensités-Durées-Fréquences (I-D-F). Afin de représenter la variabilité des pluies extrêmes dans l'espace et dans le temps, Batti (2005) a employé le Gradex des pluies, un paramètre de la loi Gumbel. D'après la méthode AURELHY (Benichou et Le Breton, 1987), une caractérisation de l'environnement topographique de la zone étudiée est préalablement faite en considérant les principales composantes du relief. Cette caractérisation est ensuite mise en relation avec la variable pluviométrique. Pour terminer, la variabilité spatiale du Gradex est déterminée à l'aide d'une régression linéaire multiple entre les

composantes principales du relief et le Gradex. Un modèle qualitatif a également été appliqué à la zone d'étude. À partir de la méthodologie élaborée par Le Bissonnais et al. (2001), le processus d'érosion est influencé par divers facteurs dont le sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat (Batti, 2005).

I.4.6. Cartographie de la sensibilité des sols à l'érosion (Dumas) :

Pour évaluer la sensibilité des sols à l'érosion des communes de Bouloupari, de Dumbéa et de Paita en Nouvelle-Calédonie, Dumas a réalisé une modélisation qualitative basée sur une analyse multicritère. La pente, la nature du substrat et l'occupation du sol sont les principaux facteurs pris en compte par cet auteur. À partir de l'analyse de ces facteurs, quatre niveaux de sensibilité des terrains sont proposés : faible, moyen, fort et très fort (Dumas, 2004).

I.4.7. Cartographie de l'aléa « érosion hydrique » (Luneau) :

Dans la continuité de cette étude cartographique réalisée par Dumas (2004), Luneau définit l'aléa « érosion hydrique » comme la combinaison de la sensibilité des sols et des précipitations. L'indice de l'érodibilité des sols, le degré de protection de la couverture végétale, la pente, la courbure horizontale, la courbure de profil, les surfaces drainées et les données pluviométriques sont les indicateurs qui ont été extraits. Un modèle statistique par évaluation multicritère a été développé à partir de ces indicateurs qui ont été pondérés lors d'une phase de standardisation (Luneau, 2006).

I.5 Les principales études de l'érosion en Algérie :

Plusieurs études concernant l'érosion ont été effectuées en Algérie, mais très peu qui a associé les techniques de la géomatique. Les présentes études sont les principales études réalisées dans la cartographie de l'érosion en utilisant les SIG.

- Application des techniques nucléaires et la télédétection à l'étude de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'oued Mina :

Réalisé en 2013 par Mr Meddi Mohamed comme Directeur de thèse et Mr Mahe Gil comme Co-directeur de thèse : L'objectif général de cette thèse est de développer et de présenter une méthode qui peut être utilisée pour évaluer le risque d'érosion hydrique dans les différents niveaux du système de paysage en utilisant l'équation universelle des pertes en sol USLE dans le bassin versant de l'Oued Mina.

- Cartographie des risques d'érosions hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'El Hamel (Boussaâda)Algérie :

Réalisé en 2013 par T. Mostephaoui, S. Merdas, B. Sakaa, M. T. Hanafi et M.T. Benazzouz : L'présente étude, cherche à mettre en relief la nature et l'ampleur des facteurs et paramètres contribuant à la dégradation du sol du fait de phénomènes naturels et anthropiques et par voie de conséquence le barrage vert dans le bassin endoréique du Hodna. L'un des objectifs de ce travail est d'offrir une méthode de cartographie des zones à risques d'érosion par SIG en servant du modèle USLE.

- Cartographie qualitative de la sensibilité du sol à l'érosion hydrique : Cas du bassin versant oued Boukiou (nord-ouest de l'Algérie) :

Réalisé en 2015 par S. Bouguerra et A. Bouanani : L'étude porte sur une analyse des principaux facteurs naturels entraînant le phénomène de l'érosion hydrique des sols dans l'un des bassins-versants de l'ouest algérien. La méthodologie se base sur la technique usuelle de cartographie numérique depuis l'acquisition et le traitement d'images satellitaires et des données de la télédétection jusqu'à leur croisement avec d'autres données géographiques dans l'outil SIG.

I.6.les principes facteurs d'érosion :

- **Facteur topographique ou l'influence de la pente :**

Les paramètres topographiques sont fondamentaux pour expliquer l'importance des phénomènes érosifs. la déclivité et la forme de la pente et la longueur de la plus grande pente ont un rôle important. Batti et Depraetere (2007) admettent que l'érosion moyenne par unité de surface croit avec la longueur de la pente et l'expliquent par le fait que les pentes les plus longues permettent une plus forte accumulation du ruissellement, ce qui accroît l'énergie globale de celui-ci et ses possibilités de détachement et de transport.

- **Intensité des précipitations ou érosivité des pluies (R) :**

La pluie est évidemment l'agent essentiel de l'érosion hydrique. L'érosivité de la pluie se définit comme étant son aptitude à provoquer l'érosion. L'érosivité dépend surtout de l'intensité de pluie ou de l'énergie cinétique qui en résulte directement (Stengel et Gelin, 1998). Cette énergie découle du diamètre des gouttes et de leur vitesse de chute.

L'érosivité des pluies dépend de plusieurs paramètres notamment de l'intensité de la pluie ou de son énergie cinétique qui en résulte directement (HATAB, 2011). L'intensité des précipitations et le ruissellement doivent être considérés lors de l'évolution d'un problème dû à l'érosion hydrique, les particules les plus fines comme les sables fins, limons, argiles et la matière organique peuvent facilement être emportée lors de l'éclaboussement des gouttes et par le ruissellement ; alors que des gouttes de pluie plus forte (dissipant plus d'énergie) et un plus grand ruissellement seront nécessaires pour déplacer les plus grosses particules de sable et gravier. (Arnold, 1989).

Selon Meylan (2002), l'intensité des pluies diminue lorsque la durée augmente, les longues pluies, d'automne par exemple, sont généralement assez tranquilles de faible intensité. Le facteur d'agressivité des pluies se calcule, pour une averse, pour un mois, pour une saison, ou pour l'année. On peut en calculer la moyenne annuelle ou le cumuler sur plusieurs années. Les résultats $A = R.K.LS.C.P$ Carte du risque d'érosion Facteur d'érosivité R Facteur d'érodibilité K Facteur LS Facteur C Facteur P Modélisation de l'érosion hydrique .

- **Couvert végétal (c) :**

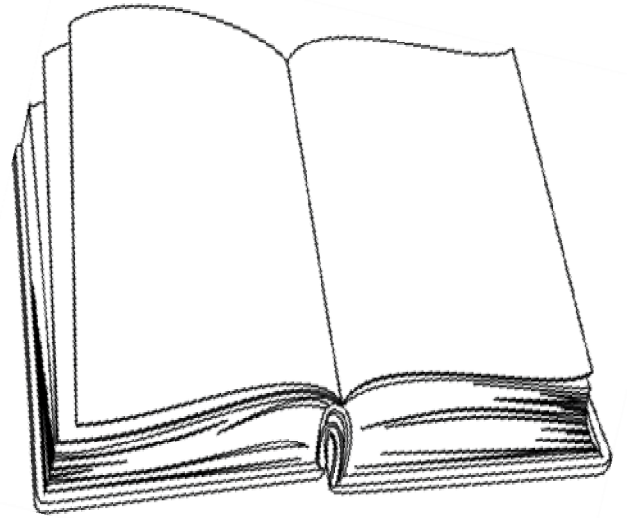
L'efficacité du couvert végétal et de résidus à réduire l'érosion dépend du type, de l'étendue et de la densité du couvert végétal .la végétation et les résidus combinés, couvrant complètement le sol, interceptent la pluie et sont le moyen le plus efficace pour réduire les pertes de sol. Les résidus partiellement incorporés et leurs racines ont aussi leur importance. Parce qu'ils facilitent l'infiltration. (Arnold et al,1989).

Les processus de dégradation et d'érosion et leurs formes	Les causes : différentes sources d'énergie	Les facteurs de résistance du milieu
Erosion mécanique sèche Forme : creeping	Gravité et poussée par les outils de travail du sol	<ul style="list-style-type: none"> - fonction de l'intensité du travail du sol, c'est-à-dire de la fréquence des travaux et du type d'outil - fonction de la pente et de la cohésion du terrain
Erosion en nappe Forme : nappe de sable, pellicule de battance ou de sédimentation, "demoiselle coiffée", micro-falaise	Battance des gouttes de pluie	<ul style="list-style-type: none"> - le couvert végétal, - la pente, - le sol, - les techniques et structures anti-érosives
Erosion linéaire Formes : griffes, rigoles, Ravines	L'énergie du ruissellement dépend du volume du ruissellement et de sa vitesse $\text{au carré } 1/2MV^2 = 1/2MGH$	<ul style="list-style-type: none"> - la vitesse du ruissellement est fonction de la pente et de la rugosité, - le volume ruisselé est fonction de la surface du bassin versant et de la capacité d'infiltration, - résistance du profil du sol et des racines

Tableau I.2 : processus de dégradation, causes, les facteurs de résistance du milieu.

I.7 Conclusion :

Le présent chapitre a donné un aperçu du phénomène environnemental faisant l'objet de cette étude, ainsi une explication des méthodes utilisées dans le contexte de la cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique afin de choisir la méthode qui convient à la zone d'étude et aux données disponibles. Notre décision se porte sur une approche cartographique qui porte sur l'intégration des facteurs influents à l'érosion hydrique dans un SIG et les hiérarchiser sur les différentes zones du sous bassin versant, afin de produire une carte de vulnérabilité à l'érosion. Notre choix se justifie par la simplicité de la méthode et la disponibilité des données qu'elle nécessite.



CHAPITRE II

Cadre géologique

II.1. Introduction

La région de sous bassin versant de l'oued BOUSELLAM AMONT fait partie dans les Hautes Plaines Sétifiennes. Elle est limitée au Nord par les monts du Djemila et au Sud par la barrière montagneuse du Hodna. Au centre, elle est accidentée par des reliefs isolés ; Zdimm (1160m), Youssef (1442m), Braou (1263 m) et Tnoutit (1198m).

Géologiquement, elle est très compliquée, car elle couvre plusieurs domaines paléogéographiques, qui sont : le domaine tellien au Nord puis le domaine de la plate forme sétifienne au centre et le domaine Hodnéen au Sud. Aussi, elle intercale avec la nappe néritique constantinoise à l'Est, et la nappe tellienne type Djebel Sattor à l'Ouest.

Situation géographique :

Les hautes plaines sétifiennes , objet de notre étude, sont situées dans le nord Est algérien. Administrativement ,le secteur étudié fait partie de le wilaya de Sétif.

La wilaya de Sétif est localisée dans l'Est algérien, entre les méridiens de 4° et 7° Est , et les parallèles de 35° et 37° nord par les wilayas de Bejaia et Jijel, au sud par les wilayas de Batna et M'Sila , à l'Est par la wilayas e Mila et à l'Ouest par la wilaya de bordj Bou Arreridj. Sa superficie et de 6.549,64km ,53% de cette superficie occupée par des plaines.

Les hautes plaines couvrent la partie centrale de la wilaya de Sétif et se développent au Sud de route nationale N°5 (Ain Amat-Sétif-El Elma-Bir El Arch.) . Elles sont des vastes étendues aplanies ou nivelées autour d'une altitude moyenne qui varie de 950 mètre à L'Ouest jusqu'a 750 m à L'Est , et se localisent entre les monts du Honda au sud et les monts de Djemila au nord, Elles s'étendent d'Est en Ouest sur une longueur de 80 km , et une largeur maximum de 45 km.

La partie centrale de cette zone est accidentée par des reliefs isolés ; le Djebel Zdimm (1160m), le Djebel Youssef (1442m), le Djebel Braou (1263m) , le Djebel Tnoutit (1192m) et Djebel El Meksem (1077m).

Les hautes plaines sétifiennes atteignent le Nord des Djebels des Tafouer (1149m) , Agmérrouel (1241m) et le massif de Boutaleb. Au entre et à L'Est du périmètre des hautes plaines sétifiennes , les dépressions sont occupées par des chotts : chott el mellah et sebkhet melloul au Sud d'El Eulma. La zone d'étude se prolonge jusqu'aux premiers contreforts des monts du Hodna .



Photo II.1 le massif de Boutaleb

Le réseau routier de la région est bien développé , telles que les routes nationales N°05 ,N°28,N°75,et N°78 , ainsi , la région et traversée par l’auto route Est-Ouest sur un tronçon de 75 km et une voie ferrée. Ils favorisent une communication facile et jouent un rôle important dans les différentes activités économiques et commerciales de la région, notamment, l’activité minière qui s’appuie sur l’exploitation des calcaires de Djebel Youssef et Guetar , les sels de Guellal et autres .de plus, la région dispose d’un aéroport ouvert au réseau tant national qu’international .

La région recèle un important potentiel touristique.il est constitué par le nombre important de source thermales, ainsi que des sites archéologiques (Djemila, Ain El Hanche, Mezloug et autres) et naturels(Boutaleb, Ouled Tebben,M’ghress et Babor).

La population est essentiellement concentrée dans les principales villes (Sétif ,El Eluma , Ain Oulmene , Ain Azel, Salah Bey et Ain Arnat) et les centres urbains d’où se trouvent des zones industrielles et le secteur des activités sociales .



Salah Bey-le Sud Sétifien
Photo :Houssemezerzi

Photo II.2. bassin de Saleh bey

II.2. Ensembles lithostratigraphique du Hautes Plaines Sétifiennes

Les terrains et les structures des unités de la région d'étude (Figure 01) sont résumés d'après les auteurs suivants : J. Savornin(1920) ; J. Bertraneu(1952) ; J. Glaçon(1967) ; J. M. Vila (1980) ; R.Guiraud (1990).

II.2.1. Les terrains triasiques et infraliasiques

II.2.1.1. Le Trias

Il correspond aux terrains les plus anciens connus à l'affleurement dans la région. Il est essentiellement représenté par des évaporites. Il n'affleure jamais en position stratigraphique normale, sous les assises liasiques, mais, au contraire, il se présente en pointements diapiriques et en lames injectées le long des accidents tectoniques, sans aucune stratification.

D'après J.M.Vila (1980), les masses triasiques jalonnent les contacts anormaux tangentiels à l'exception des secteurs autochtones méridionaux où le Trias occupe une position anticlinale clairement extrusive.

Le Trias comprend deux types de terrains, fort constants dans toute l'Afrique du Nord : des roches sédimentaires et des roches éruptives.

a. Les terrains sédimentaires

Le complexe triasique est constitué essentiellement d'argilites bariolées et gypse. Il s'agit surtout d'argillites bigarrées, d'évaporites et de roches carbonatées (calcaro-dolomitiques, des cargneules, des grés et marnes bariolées).

Les argillites bariolées sont de couleurs assez vives, parfois présentent un aspect lité, elles sont le plus souvent en amas confus associées au gypse.

Le gypse est l'un des éléments principaux du complexe triasique. Sa couleur généralement blanche, varie selon les couleurs des impuretés.

Les roches carbonatées existent fréquemment, mais en amas ou en blocs de dimensions très variables. Il s'agit de dolomies noirâtres, très caractéristiques du Trias, on rencontre aussi des dolomies grises, jaunâtres ou brunes. En général, elles sont compactes.

Des cargneules de teinte jaune, brune, rouille, formant des masses peu ou pas stratifiées donnant des reliefs ruiniformes.

Le sel gemme ne s'observe jamais à l'affleurement, mais la présence de chlorure de sodium est manifestée dans les eaux qui sourdent des terrains triasiques.

Des minéraux libres tels le quartz bipyramidés, l'hématite, des dolomites en rhomboèdres et des cristaux de pyrites sont associés aux évaporites triasiques.

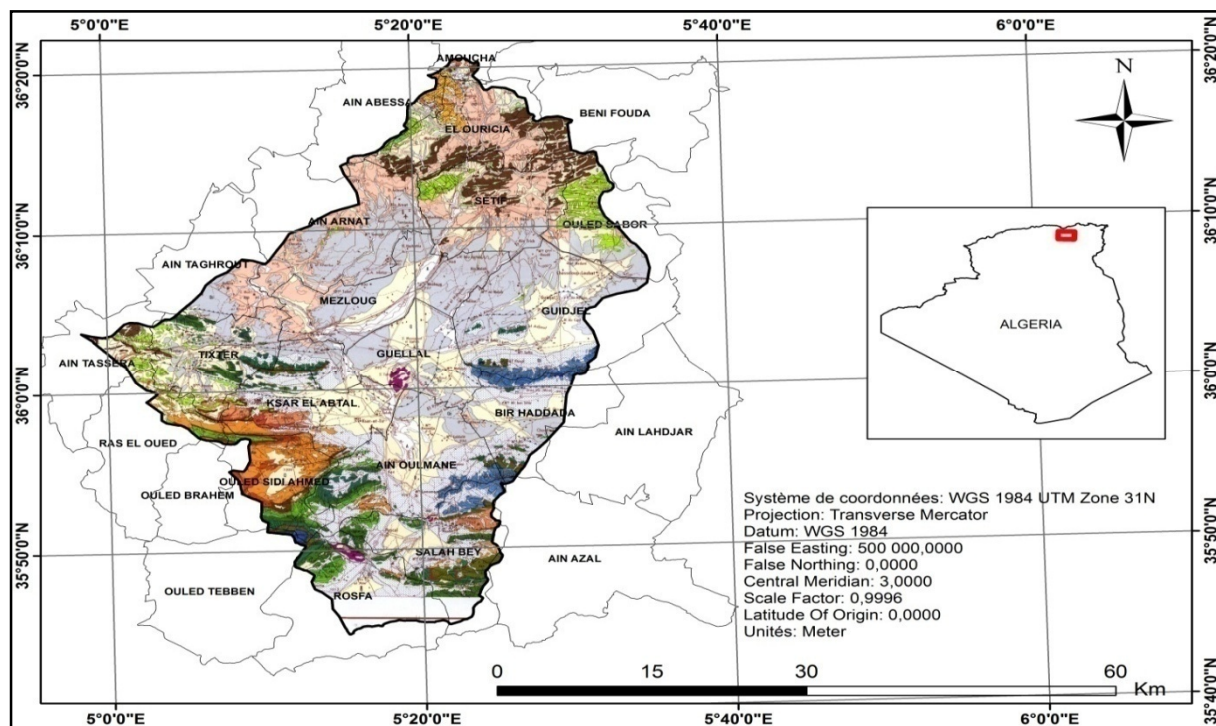
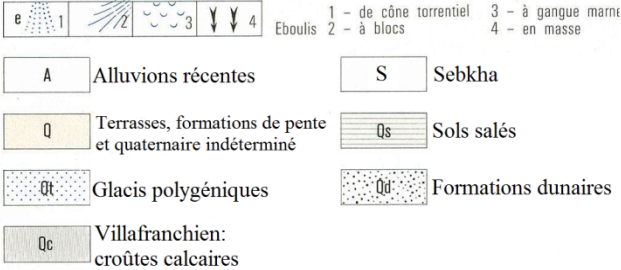


Figure II. 1 : Carte géologique de la région d'étude (Extrait de la carte géologique de Sétif /200000), d'après J.M.Vila

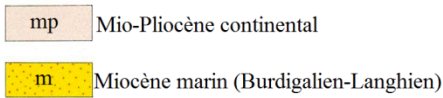
TERRAINS SÉDIMENTAIRES

FORMATIONS PEU OU PAS TECTONISÉES

Quaternaire

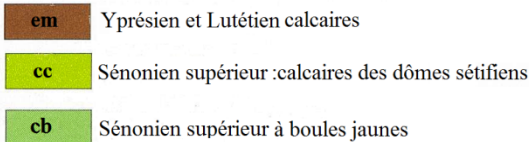


Mio-Pliocène



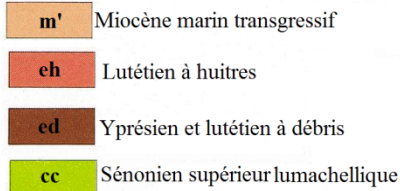
Nappe de Djemila

et unité inférieure à matériel éocène



Nappe du Djebel Sattor

unités éocènes à Nummulites et à Huitres

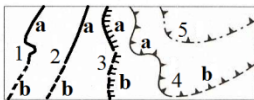


NAPPE NÉRITIQUE CONSTANTINOISE



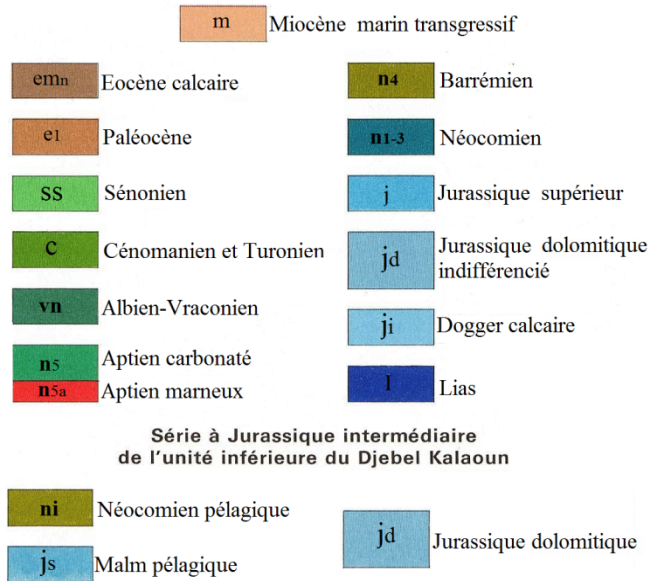
Contacts

- a- visibles
- b- cachés ou supposés

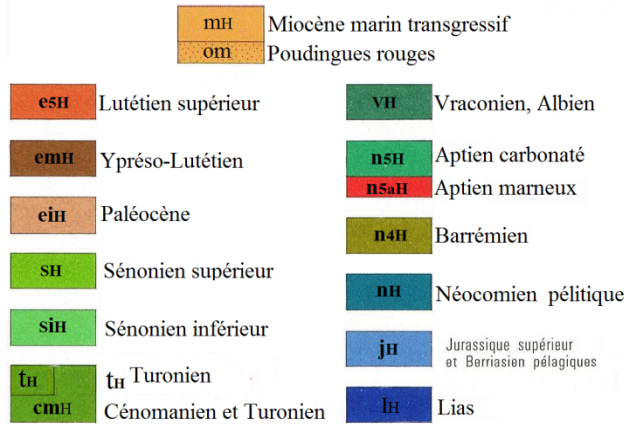


- 1-Limites stratigraphiques
- 2-Failles
- 3-Failles inverses "alpines"
- 4-Charriages (les barbelures sont du coté chevauchant)

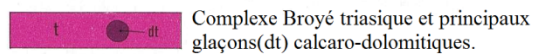
ENSEMBLE ALLOCHTONE SUD-SÉTIFIEN



PARAUTOCHTONE ET AUTOCHTONE HODNÉENS



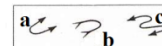
TRIAS EXOTIQUE OU EXTRUSIF



Pendages

	normaux	renversés
horizontaux	+	✗
faibles	↘	↙
moyens	↘	↙
forts	↘	↙
verticaux	---	---

Charnières



- a- anticlinales
- b- synclinales
- c- plis empilés

Légende de la Figure 01

b. Les roches éruptives

Au sein des terrains sédimentaires du Trias, on rencontre de nombreux fragments et blocs des roches éruptives, il s'agit de roches vertes connues sous le nom d'ophites. Dans la région d'étude, je ne connais qu'un seul pointement qui ait fourni des roches vertes, il s'agit de celui de Koudiat El Bassour, au Nord d'Ain Azel.

D'après J.Bertraneu (1955) et J. Glaçon (1967), les formations du Trias de la région présentent une grande similitude avec les assises classiques du Keuper de l'Europe occidentale.

Le Trias traversé par sondage (ORGM, 1984) est de type « germanique » avec de bas en haut: des grès, des évaporites à intercalations de roches vertes volcaniques et de marnes silteuses gris-verdâtres (R Guiraud.1990, A Boutaleb.2001).

II.2.1.2. Infralias

Il s'agit de séries calcaro-dolomitiques rencontrées non en place toujours associées aux percements triasiques, mal datée par des fossiles discutables, ces séries ont été attribuées tantôt au sommet du Trias (Rhétien), tantôt à la base du Lias (Hettangien). Il n'y a pas dans la zone d'étude de niveaux de calcaire ou gréseux avec faune triasique (Myophories) comme dans le Chettaba et la zone du Tell Sétifien (J. Glaçon, 1967).

Hormis les lames triasiques de Djebel Methgoub Rass et Drâa El Djebbas, les séries attribuées à l'Infralias sont répandues dans tous les affleurements triasiques de la région avec une faible puissance (visible en affleurement) qui ne dépasse pas les 10 mètres.

II.2.2. Ensemble parautochtone et autochtone Hodnéen

Les séries Hodnéennes n'occupent qu'une frange mince dans la zone d'étude, elles sont représentées par les formations des Djebels : El Hassane, Kenndour, Osmane, Lougrine (Gourine), El Djezaiz (Soumaa), Messaoud, Machtour et le massif de Hadjar Labiod (Fig. 10).

Les formations de cet ensemble comportent des termes allant du Jurassique jusqu'au Miocène.

II.2.2.1. Les formations Jurassiques sont représentées par les étages suivants :

a. Le Lias

Il est essentiellement calcaro-dolomitique en bancs massifs, mal lités à algues. Au sommet, il devient plus fossilifère avec quelques niveaux de calcaires à silex et des dolomies à nodules siliceux. Cette série affleure sur une centaine de mètres d'épaisseur, il s'agit de Lias moyen à inférieur à Toarcien.

b. Le Lias supérieur(Toarcien)

Ce sont des marnes jaunâtres, blanchâtres avec des plaquettes calcaires et des marno-calcaires grumeleux en petits bancs de 2 mètres. Cette série ne dépasse pas une vingtaine de mètres.

c. Le Dogger

Il est représenté par des calcaires noduleux rouges et des marnes à Ammonites. Ce sont d'abord une centaine de mètres de calcaires argileux, surmontée par 40 mètres de couches marneuses, puis 50 mètres de dolomies et enfin la série se termine par 40 mètres des formations marneuses à nombreuses intercalations de calcaires à Bélemnites.

d. Le Malm

Il est représenté par des marnes et des calcaires marneux ; calcaires fins à Saccocomidés, biomicrites. La série débute par 150 mètres de marnes à nombreuses intercalations de micrites ; au dessus, on a 100 mètres de micrites en petits bancs datés le Portlandien supérieur.

II.2.2.2. Les formations crétacées

Le Crétacé affleure largement dans l'ensemble parautochtone hodnéen, il est représenté par les termes suivants:

a. Le Néocomien

Ce sont des pélites à intercalation marno-calcaires à la base, pour devenir pélitiques en bancs épais à mince intercalations gréseuses vers le sommet.

b. Le Barrémien

Il s'agit d'une série complexe et très variée, on y rencontre des calcaires, des dolomies, des grès et des minces intercalations argileuses ou marneuses. La série barrémienne atteinte près de 150 mètres d'épaisseur, elle affleure largement dans le massif de Hadjar Labiod.

c. L'Aptien: il est composé d'une formation marneuse et d'une formation carbonatée.

- **Aptien marneux** ; c'est une série de marnes gréseuses jaunes ou vertes avec des intercalations des calcaires à Orbitolines pouvant dépasser les 100 mètres d'épaisseur.

- **Aptien Carbonaté** ; il commence par une barre dolomitique de 10 à 15 mètres d'épaisseur, se poursuit par des calcaires en gros bancs bien lités. L'épaisseur de l'ensemble varie de 300 à 350 mètres.

d. Albien-Cénomanién

L'Albien inférieur n'a pas été caractérisé. Au Djebel Hadjar Labiod, le Vraconien repose directement sur l'Aptien calcaire ; il est constitué par un ensemble de calcaires en petites dalles de grès et de marnes gréseuses jaunes. Au dessus, on a des intercalations de calcaires marneux en plaquettes et enfin au sommet, le Cénomanién marneux épais de 250 à 300 mètres avec une très riche faune de Lamellibranches et de débris d'Echinides.

e. Le Cénomanién supérieur et Turonien

A la base des calcaires dolomitiques à rognons de silex clairs et à lits de chailles blanches ou beiges, c'est le Cénomanién supérieur (100 m).

f. Le Turonien

Il est également carbonaté, représenté par des marnes et des calcaires dolomitiques à débris d'hippuritidés, dont l'épaisseur ne dépasse pas 100 mètres. Ces deux termes affleurent aux Djebels Osmane, Gourine, Messaoud, Machtour et dans le massif de Hadjar Labiod.

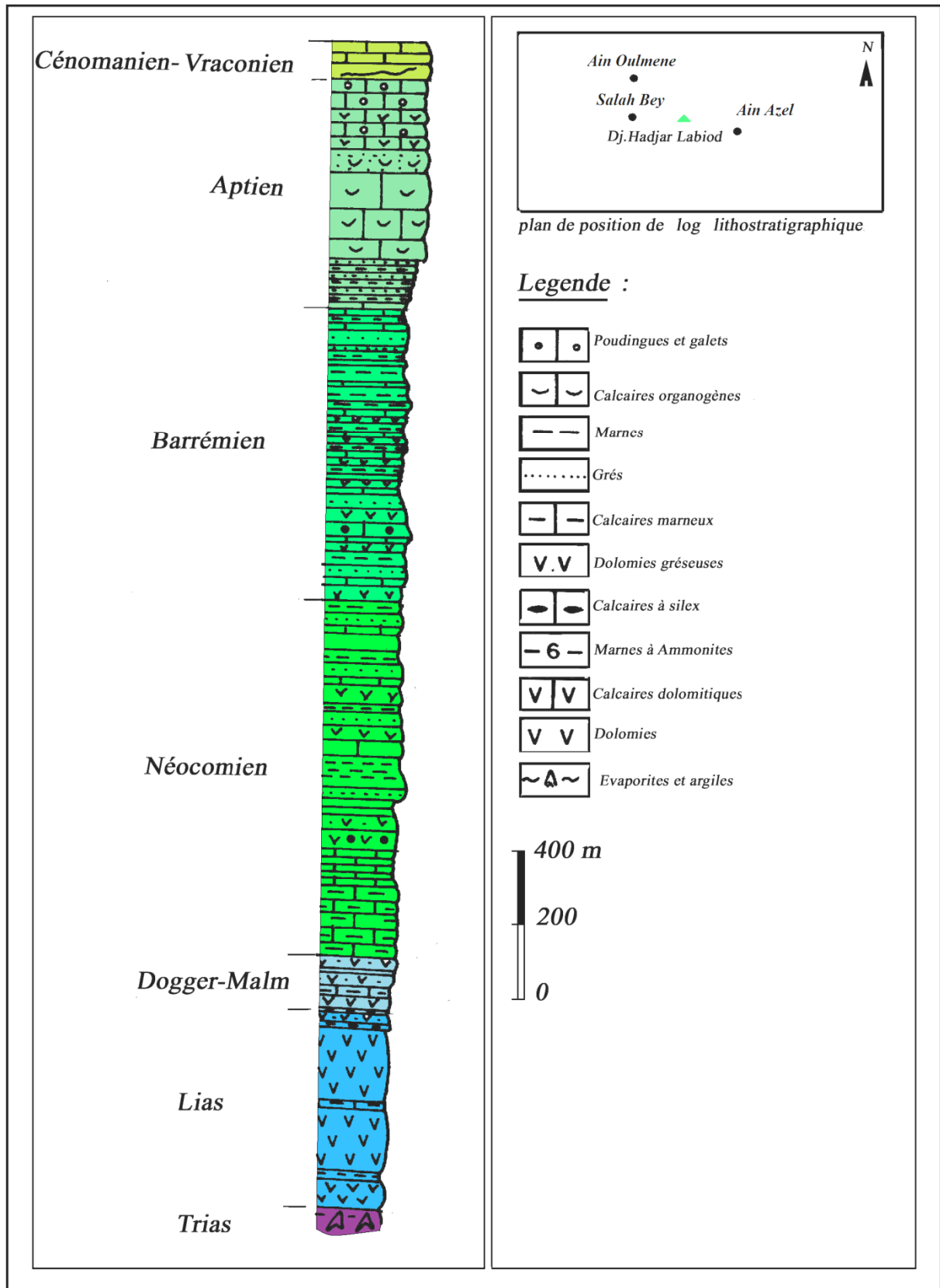


Figure II.2 : Colonne lithostratigraphique du massif de Hadjar Labiod

(Compilation faite par A. Boutaleb, 2001 à partir des travaux de J. Glaçon, 1967; R.Guiraud, 1973; J.M.Vila, 1980).

g. Le Sénonien

-Sénonien Inférieur

Il est composé de marnes jaune-verdâtres, sableuses à petits galets roulés (grés, silex) et une barre de quelques mètres de calcaires à galets dans les marnes avec une épaisseur qui ne dépasse pas les 150 mètres.

-Sénonien supérieur

Le Campanien débute par une série marneuse avec des intercalations lumachelliques, puis vient le Maestrichtien avec des calcaires. L'ensemble ne dépasse pas 350 à 400 mètres, il constitue la totalité du Djebel El Djezaiz (Soumaa) à l'Ouest de Salah Bey (ex, Pascal).

La série Sénonienne n'affleure d'ailleurs que dans le Djebel de Osmane à l'Ouest d'Ain Oulmene (ex, Colbert).

II.2.2.3. Le Tertiaire

a. Le Paléocène

Ce sont les "marnes Suessoniennes" (Savornin, 1920), correspondant aux marnes argileuses noirâtres. La partie inférieure est marquée par des intercalations de calcaire pyriteux qui indiquent le Danien.

b. L'Ypréso-Lutétien inférieur

Ce sont des calcaires gris à silex souvent de teinte foncée ou noirâtres, à grain fin, dolomitique ou bitumineux. La partie inférieure de cet ensemble contient des calcaires durs phosphatés à galet de silex (70 à 80m) dans la Koudiat Rhernouga.

c. Lutétien supérieur

Il s'agit d'argiles gypsifères à intercalations de calcaires organogènes jaunâtres en gros bancs de 01 mètre à quelque dizaine de mètres.

d. Le Miocène

Il est marin, transgressif. C'est une série complexe avec des bancs de poudingues, des calcaires gréseux, des grés blancs, des marnes grises, des argiles à gypses, des marnes jaunes et des calcaires.

II.2.3. Séries à jurassiques intermédiaires de l'unité inférieure de Djebel Kalaoun

Cette unité constitue l'essentiel de la masse de Djebel Kalaoun à l'ouest de Beida Bordj. Elle comporte les termes suivants (Figure 3)

II.2.3.1. Jurassique dolomitiques

Il s'agit de dolomies grises ou noires de puissance environ 100 mètres, ces dolomies constituent le cœur de l'anticlinal de l'unité inférieure et identiques à celles de ensemble Sud Sétifien.

II.2.3.2. Le Malm

Le Malm est représenté par quelques mètres de biomicrites à Calpionelles. La base de la série est constituée par des calcaires fins à radiolaires et saccocoma, il peut s'agir de Kimméridgien ou Portlandien. L'ensemble ne dépasse guère une dizaine de mètres.

II.2.3.3. Néocomien

Il s'agit d'un ensemble bien lité de calcaire fin en petits bancs de 5 à 60 cm dont l'épaisseur est de 150 à 200 mètres. Ces calcaires sont à patine claire, blanche ou jaunâtre; la cassure présente la même couleur de patine. Comme faune on a les *Tintinnopsella Longa*, *Calpionellites Darderi* ont daté le Valanginien inférieur, le Berriasien a été daté par *Tintinnopsella Carpathice*.

Un phénomène de dolomitisation intense dans les calcaires de la base a été signalé par R. Guiraud (1990).

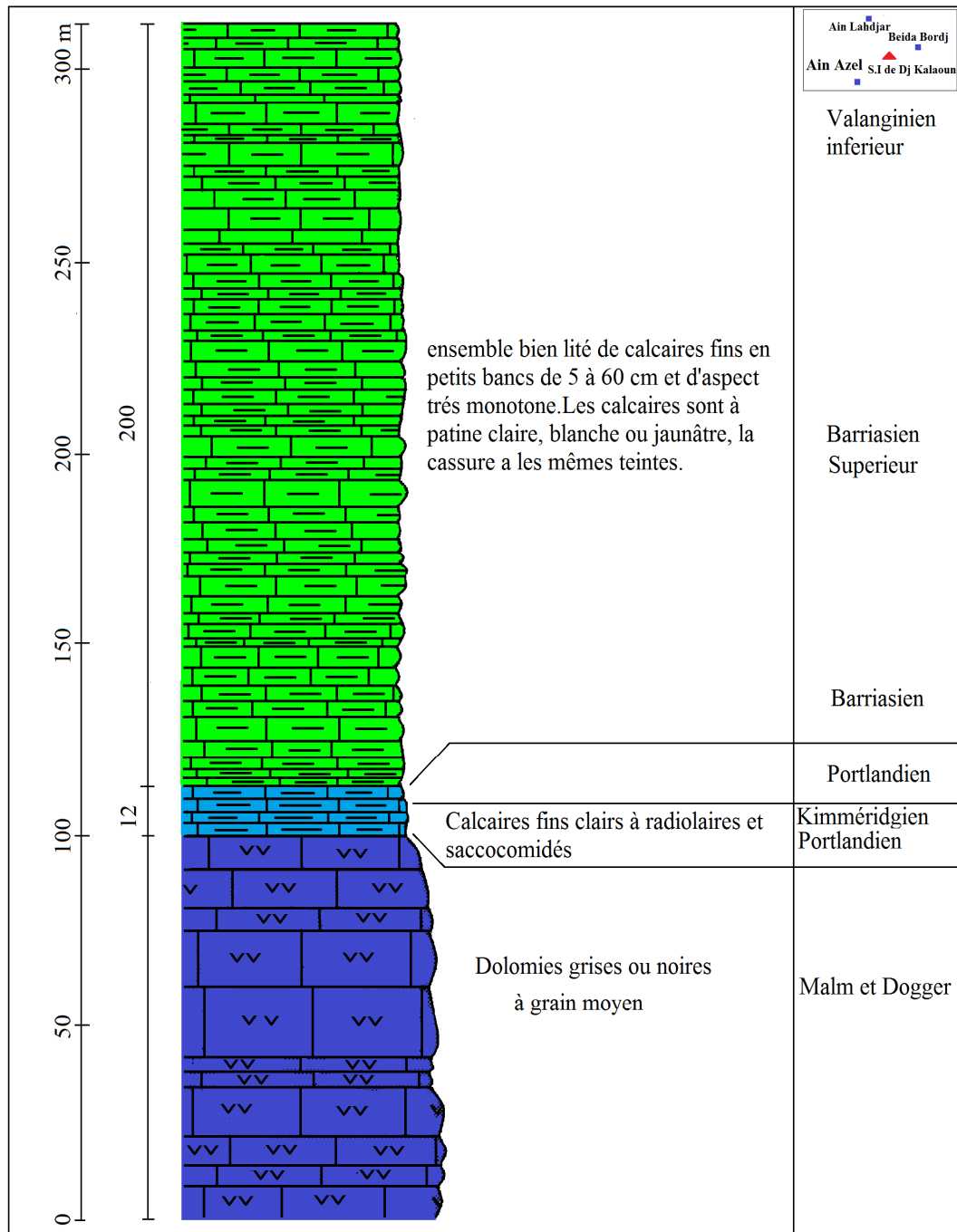


Figure II.3 : Log lithostratigraphique de l'écaille inférieure de Djebel Kalaoun (J.M.Vila, 1980).

II.2.4. Ensemble allochtone Sud-Sétifien

Il compose les séries des Djebels ; Zdimm, Youssef, Braou, Tnoutit, Sekrine, Agmérrouel, l'écaille d'Ain Lahdjar, Koudiat Tella et séries supérieures du Djebel Kalaoun. Cet ensemble comporte des formations allant du Jurassique jusqu'au Miocène (Figure4).

II.2.4.1. Les formations Jurassiques

Le Jurassique comporte les termes suivants :

a. Le Lias

Le Lias dolomitique affleure au Djebel Tafourer, au Djebel Sekrine et au Djebel Youssef. Parfois, il correspond à une mince série argilo-marneuse qui recouvre un ensemble dolomitique assez épais. Il peut dépasser une centaine de mètres d'épaisseur.

b. Le Dogger

Il a été reconnu au Djebel Sekrine et au Djebel Tafourer. Cette série est constituée par des lentilles de calcaires gris en petits bancs à grains fins qui auraient livré des débris d'Ammonites. En lames minces leur faciès à « Filaments » a permis à J. M. Vila, (1980) de leur attribuer un âge Dogger.

c. Le Jurassique dolomitique indifférencié

C'est une série dolomitique envahit la série supra liasique, ailleurs elles s'intercalent entre le lias daté et le jurassique supérieur donc elles peuvent représenter la totalité du jurassique moyen et supérieur ou le jurassique moyen seulement.

d. Le Malm

Il s'achève dans beaucoup d'endroits (Youssef, Sekrine et El Hammam) par des calcaires massifs gris en gros bancs dont l'épaisseur totale est de 80 mètres à Djebel Youssef.

La datation de cet ensemble calcaire repose sur la présence dans les niveaux les plus élevés de gros débris de Lamellibranches, de Polypiers, Clypéina jurassica qui indique le Jurassique terminal.

II.2.4.2. Les formations crétacées : les séries du Crétacé sont représentées par

a. Le Néocomien

Le Néocomien représente un nouvel épisode argileux ou marneux. Il affleure largement dans l'ensemble allochtone sud sétifien et commence presque toujours par un hard ground. L'épaisseur du Néocomien atteint en général une centaine de mètres.

-Le **Berriasien** a été signalé par R. Guiraud (1990) dans le versant sud de Djebel Sekrine, il s'agit de calcaires sublithographiques à Calpionelles et Ammonites.

-Le **Valanginien** a livré des Ammonites (Djebel Sekrine), J.Savornin (1920) a signalé au Djebel Guestar la présence des Miliolites et des Ostracodes.

-L'**Hauterivien** contient une microfaune à *Lenticulina schreiteri*.

b. Barrémien

C'est une formation complexe composée de calcaires, dolomies et des grès avec de minces intercalations argileuses ou marneuses, l'ensemble de ces formations atteint 450 m d'épaisseur. Il affleure dans tous les massifs qui constituent l'ensemble allochtone sud sétifien.

.

.

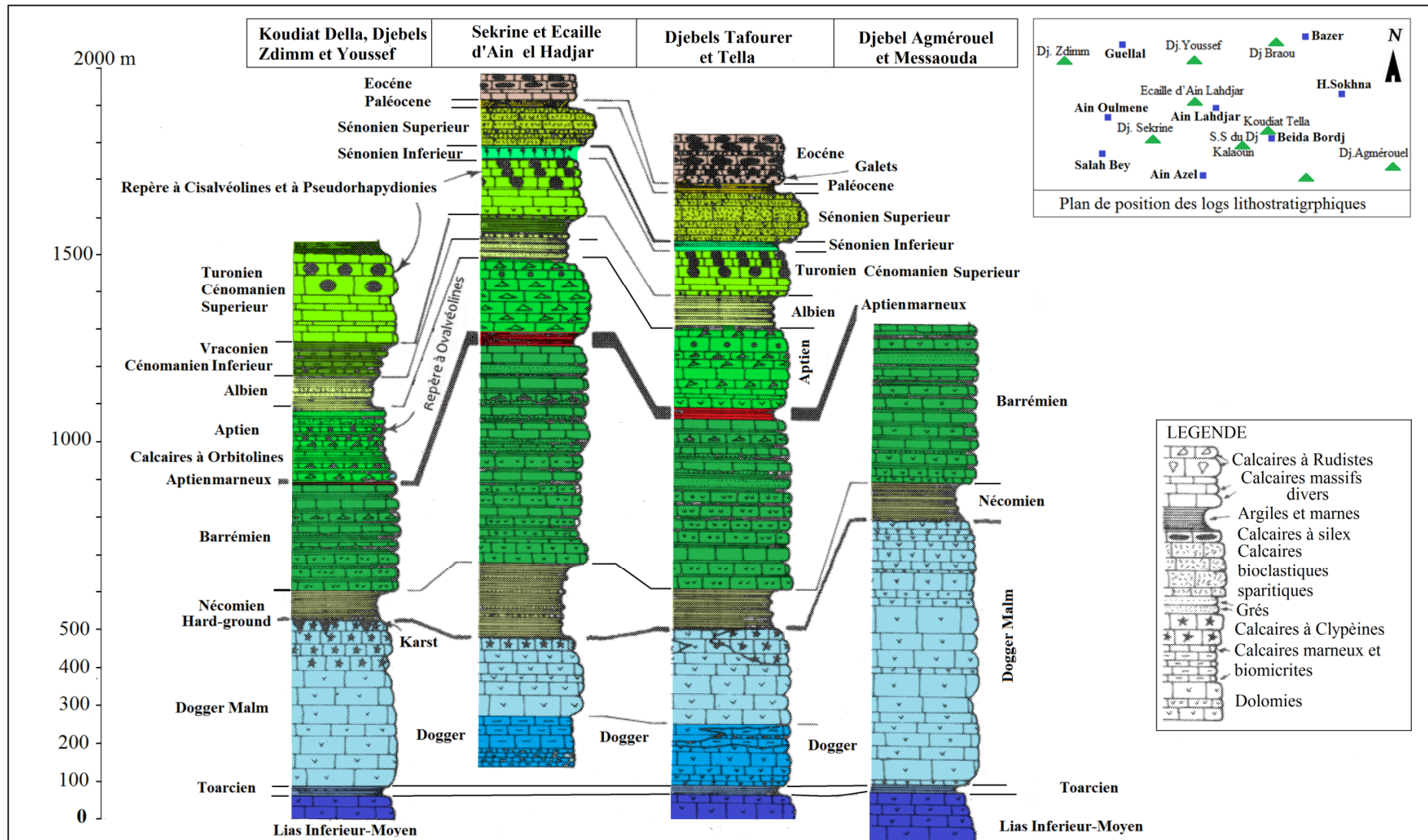


Figure II .4 : Corrélation des séries typiques de l'ensemble allochtone sud-sétifien (D'après J.M. Vila, 1980),

c. Aptien

-**Aptien marneux** : il représente les termes les plus anciens de l'Aptien. Il débute par un mince repère où dominent les marnes jaunâtres très caractéristiques de l'Aptien inférieur. Ces marnes ne dépassent guère les 60 mètres d'épaisseur.

-**Aptien carbonaté** : il surmonte l'Aptien marneux, il s'agit de calcaires en gros bancs à Orbitolines, de calcaires grossiers où noduleux à Nérinées, de biosparites à Rudistes avec de minces intercalations marneuses. Cette formation de 250 à 300 mètres d'épaisseur n'affleure que dans les massifs septentrionaux (Zdimm, Youssef, Sekrine, Ain Lahdjar et Tella).

d. Albien-Vraconien

L'Albien et le Vraconien correspondent à un ensemble d'une épaisseur de 100 à 200 mètres à dominante marneuse.

e. Cénomanien -Turonien

Ils correspondent à une série d'une épaisseur de 100 à 200 mètres. Cette série est représentée par une barre carbonatée qui débute par des niveaux dolomitiques ou par des biosparites à Orbitolina conica. Elle devient micritique au sommet avec des faciès à Foraminifères benthoniques.

f. Le Sénonien

-**Le Sénonien inférieur** : il a été reconnu à l'Ouest du Djebel Zdimm, où il débute par un hard ground et ne comprend qu'une dizaine de mètres de marnes sombres.

-**Le Sénonien supérieur** : il n'affleure qu'au Nord du Djebel Sekrine, au Djebel Kalaoun, au Chouf Et Tine et à la Koudiat Tella. Il est constitué par des barres calcaires rousses bien datées du Maestrichtien au Chouf et Tine. La série a une épaisseur qui varie de quelques mètres à 200 mètres.

II.2.4.3. Le Tertiaire : Le Tertiaire comporte les termes suivants :

a. le Paléocène

Les formations du Paléocène sont représentées par quelques pointements au Chouf Et Tine et à Koudiat Tella. Ce sont des marnes à débris et des argiles brunes, jaunâtres, en surface, grises en profondeur, gypsifères avec de petits bancs de calcaires marneux, et des niveaux phosphatés à Chouf Et Tine. L'épaisseur de ces niveaux peut atteindre environ 40 m.

b. L'éocène

Il est caractérisé par quelques mètres de calcaires clairs à silex, qui renferment d'abondants débris de gastéropodes. Ce sont des biosparites à débris d'échinodermes, de phosphates, à rares galets de silex et grains de quartz. Ces calcaires affleurent au Chouf Et Tine, des faciès identiques existent près de Beida Bordj et d'Oum El Adjoul.

c. Le Miocène

Il est marin, transgressif, cette formation est constituée de conglomérats rougeâtres à la base qui ravinent largement son substratum ; à la suite duquel viennent des calcaires gréseux roux et des marnes. Il repose directement sur le Barrémien du versant sud du Djebel Sekrine.

II.2.5. La Nappe néritique constantinoise

La nappe néritique constantinoise est représentée par un minuscule petit affleurement au Djebel Meksem au Sud-Est du Djebel Tnoutit (l'Est de la région d'étude).

La série renversée du Djebel Chebka débute par une barre calcaire aptienne (15 mètres) à rudistes, surmontée par des calcaires bien lités d'épaisseur 150 mètres environ.

II.2.6. La nappe de Djebel Sattor

La nappe de Djebel Sattor est développée depuis la région d'Ain Taghrout jusqu'à la dépression située entre Djebel Zdim et Djebel El Hassane (Nord-Ouest d'Ain Oulmene). Elle repose sur l'autochtone hodnéen de Djebel El Hassane et comporte les termes suivants :

II.2.6.1. Sénonien supérieur : les formations du Sénonien supérieur sont représentées par un minuscule affleurement au pied de la Koudiat Sotora .Ce sont des marnes jaunâtres et des calcaires biodétritiques roux, en lame mince ce sont des biosparites à débris Inocèrames, échinodermes et des bryozoaires.

II.2.6.2. Yprésien –lutétien inférieur : il s'agit de calcaires blancs à cassure noire bitumineux et silex noirs, riche en débris phosphaté de lamellibranches et de gastéropodes. Trois affleurements de faible dimension sont visibles au pied Nord de Koudiat Sotora.

II.2.6.3. Lutétien supérieur : il est représenté par des marnes jaunes en surface, grise à la cassure et riche en intercalation lumachelliques à huitres. Un seul affleurement qui est visible entre Koudiat Sotora et Djebel El Hassane.

II.2.6.4. Miocène marin transgressif : le Miocène marin est formé par des grès calcaireux et des marnes .Cette série est constituée à la base par des conglomérats rougeâtres à puissante faible ravine les formations sous-jacentes avec une forte discordance angulaire, surmontées par des grès calcaireux roux et de biosparites gréseuses rousses à débris dont la puissance est de 250 à 300 mètres avec des intercalations marneuses.

Cette série est bien différente du Miocène Hodnéen sous-jacent.

II.2.7. Nappe Djemila

Elle est représentée par deux termes d'affleurements, ces termes sont attribués à cette nappe par leur facies qui est largement développé dans le Nord de Sétif et d'El Eulma :

II.2.7.1. Sénonien supérieur : il s'agit de calcaires fins à ciment cristallin et débris d'Ostréidés en bancs métriques, alternant avec des minces niveaux marno-calcaire gris. Il affleure à l'Ouest de Guidjal (Koudiat El Guisse) et au Sud d'El Mahdia (prés de Tinar).

II.2.7.2. Yprésien-Lutétien inférieur : il est représenté par des minuscules affleurements ; sur les berges de l'Oued Bousellam et près de village d'Ain Sfiha. Il s'agit de calcaires massifs bitumineux gris ou blancs, noirs à la cassure riche en silex noirs à débris, l'épaisseur de ces formations est de 100 m.

II.2.8. Les formations quaternaires et néogènes peu ou pas tectonisées

II.2.8.1. Mio-Pliocène continental

Les formations attribuées au Mio-Pliocène continental occupent de vastes espaces dans la région des Hautes Plaines Sétifiennes. Elles sont représentées essentiellement par des dépôts détritiques et évaporitiques (argiles rougeâtres, des lits gypsifères, sable, conglomérats, et calcaires lacustres). La partie argileuse la plus ancienne peut correspondre, comme dans le Bousellam, à la partie terminale du Miocène.

Ces formations sont répandues dans plusieurs endroits dans la région d'étude ; près d'Ain Lahdjar et de Salah Bey, à l'Est du Djebel Tella jusqu'aux environs de Beida Bordj. Autour de Djebel Sekrine et Djebel Braou.

II.2.8.2. Le Quaternaire est représenté par :

a. Les alluvions récentes : elles forment généralement une mince bande souvent discontinue au fond des oueds les plus importants. Ce sont des sables, des limons et des graviers.

b. Terrasses, formations de pente et quaternaire indéterminé : les formations de pente correspondent à des terrasses dilacérées ou à des alluvions anciennes sur lesquelles sont développés des sols bruns peu ou pas calcaires, ils ont un intérêt économique, car ils

constituent la seule surface cultivable pour les céréales. Au quaternaire indéterminés sont rapportés des placages dispersés de nature variée qui prennent un grand développement sur les niveaux marneux et qui en gênent considérablement l'observation.

c. Glacis polygéniques nappant les reliefs : les glacis correspondent à des surfaces très faiblement pentées près des plaines dont la pente augmente progressivement vers la montagne. Au moment des fortes pluies de printemps ou des gros orages d'aout-septembre, ces glacis sont localement le siège d'un écoulement en nappe avec remise en mouvement de nombreux galets et du limon superficiel.

d. Villafranchien (croûtes calcaires): le villafranchien est composé de calcaires lacustres, sols à croûtes, cailloutis fluviaux. Ces formations sont caractéristiques des Hautes Plaines Sétifiennes.

e. Sols de sebkhas; chotts : ce sont des vases salées qui garnissent les sebkhas (El Hamiet, Bazer, Melloul) et les chotts (El Frain, El Malah et El Beida). Ces vases sont périodiquement inondables surtout pendant la saison des pluies et recouvertes par des croûtes salines pendant la saison sèche.

f. Sols salés non inondables : il s'agit de limons salés à végétation typique d'halophyte correspondant à des sols hydro-morphes incultes.

g. Formations dunaires (lunettes) : ce sont des amas éolisés de sables calcaireux et de poussières limoneuses mêlés à des débris coquilliers (Gastéropodes) ou végétaux qui témoignent d'une époque d'aridité plus marquée.

II.3. Aperçu structurale de la région

Les Hautes Plaines Sétifiennes sont des vastes étendues aplanies ou nivelées et s'étendent d'Est en Ouest sur une longueur de 80 km, et une largeur maximum de 50 km. Elles sont considérées comme un bassin continental fermé rempli par des dépôts néogènes et

quaternaires. Ces dépôts forment la couverture d'un substratum très hétérogène varie du Nord au Sud et d'Est à l'Ouest.

Les structures actuelles de la région sont le résultat de mouvements tectoniques tertiaires et en particulier, les mouvements assez intenses (post Eocène, anti Oligocène) qui constituent la plupart des grands plis et les failles. Aussi, les mouvements post Miocène, intense avec déplacements accentués.

Ces structures sont représentées essentiellement par des plissements, des chevauchements des décrochements et des nappes de charriage (Figure 5 et ses coupes interprétatives).

II.3.1. Les chevauchements

Ce type de contact est fréquent dans la région d'étude, il est représenté essentiellement par les chevauchements de l'ensemble allochtone sud sétifien, ce dernier est constitué par des unités très complexes qui renferme des écaillés et des lames isolées affectées elles-mêmes. On distingue deux lignes principales de chevauchement :

Dans le centre des hautes plaines, la ligne des masses chevauchantes Zdimm Youssef-Braou-Tnoutit ; cet ensemble vers l'Est son contact de base va rejoindre les formations de la nappe néritique constantinoise et vers l'Ouest s'enfonce sous les nappes telliennes et plus précisément la nappe de Djebel Sattor. Au nord l'ensemble recouvert par la nappe tellienne de Djemila.

Au Djebel Youssef, deux chevauchements peuvent être observés, le premier dans le col de Mzaret Sekkaken où il montre l'affrontement entre les dolomies jurassiques de la série chevauchante qui recouvrent anormalement les grès barrémiens. Le seconde dans l'extrémité Nord-Est du Djebel Guetar, un paquet de dolomie jurassique recouvre anormalement un petit monoclinale de calcaires aptiens, cette surface marquée par un chert siliceux broyé à mouchetures de malachites et d'azurite.

Au Sud, la ligne de chevauchement des Djebels Sekrine, Kalaoun et Tafourer, par la poussée de ses masses vers le Sud, elles affrontent les chainons du Hodna et déterminent un accident très continu (front sud sétifien). Aussi, Djebel Sekrine est-il plissé en genou, et c'est à partir de ce plissement précoce qu'a été réalisé le chevauchement, ce dernier est bien visible dans la partie méridionale (le Crétacé inférieur chevauchant vers le Sud le Miocène Hodnéen), il dont le porté est avoisiner de 10km.

II.3.2. Les failles

Les failles sont très nombreuses dans le secteur d'étude et très variées (normale, inverse et parfois des failles radiales), elles affectant les formations carbonatées. Par ailleurs les décrochements sont bien visibles le long de l'accident chevauchant d'El Bahira au Sud de Salah Bey (ex, Pascal) et dans l'anticlinal de Hadjar El Bioud, elles présentent une cinématique dextre.

L'analyse des cartes géologiques qui couvrent la région et la carte structurale dressée par l'ORGM (1992) permettent de distinguer plusieurs familles :

-Famille N-S : les failles subméridiennes sont bien représentées dans les formations carbonatées des Djebels Osmane, Zdimm, Youssef, Kalaoun, le Crétacé du flanc Est de Djebel Hadjar Labiod et avec une nette concentration dans le flanc Est de Djebel Sekrine.

-Famille E-O : cette famille est présentée presque dans tous les massifs avec une nette concentration au niveau des formations aptiennes carbonatées de la partie septentrionale de Djebel Tafourer, les versants septentrionales du Djebel Sekrine et dans l'anticlinal de Hadjar Labiod où leurs étendues est supérieures à 3km.

-Famille NE-SW : les failles de cette direction affectent Djebels Zdimm, Youssef, Tnoutit Koudiat Tella et l'anticlinal complexe de Hadjar el Bioud. Elles sont bien représentées dans la Koudiat El Meddour et les carbonates barrémiens du flanc Est de Djebel Sekrine.

-Famille NW-SE : le système des failles NW-SE affectant les formations crétacées des Djebels Zdimm, Gourine, El Djezaiz, Tella, Kalaoun, le jurassique de Djebel Braou dans le flanc NW et le Miocène hodnéen de Djebel el Hassane.

-Famille NNW-SSE : les failles de cette famille affectent quelques massifs, elles sont bien représentées dans les formations Crétacées de Draa El Oust, le flanc Est de Djebel Zdimm, avec une nette concentration dans le dôme sénonien de Djebel El Djezaiz et l'anticlinal d'Ain el Kahla.

À Ain El Kahla, cette système de failles présente des pendages principalement 70 à 80°ENE avec un étendues atteindre 1km (Flerov .V et M. Tourqui ,1988).

-Famille WNW-ESE : cette famille est présente presque dans tous les massifs avec une nette concentration au niveau des formations crétacées de la partie septentrionale de Djebel Sekrine et dans la partie septentrionale du Djebel Kalaoun où elle constitue un faisceau de failles parallèles.

-Famille NNE-SSW : les failles de cette famille sont rares, mais elles sont bien représentées dans les formations jurassiques de la partie centrale du Djebel Youssef.

-Famille ENE-WSW : les failles de cette famille sont les plus rares, mais elles sont présentes dans le flanc Est du Djebel Gourine et au niveau de Oued Guergour qui travers le Miocène hodnéen du Djebel el Hassane.

II.3.3. Les plis

Les plis en générales simple, mais découpés par des failles et des chevauchements. Ils sont rencontrés sous forme des anticlinaux qui forment l'ensemble des hauts reliefs, et des synclinaux forment en général les dépressions.

Dans la région d'étude, les plis d'orientation Est-Ouest sont représentés au niveau de l'anticlinal de Djebel Youssef et Djebel El Hassane, quant aux alignements Nord-Est, Sud-Ouest, le dôme Sénonien de Djebel Gourine et de Djebel Sekrine montrent un meilleur exemple de cette orientation. Un autre alignement, nettement ENE-OSO, à été observé par J. Glaçon (1967) dans l'anticlinal multiple de Bou Haloula-Hadjar El Bioud -Ain El Kahla.

Dans les systèmes d'alignements, J.M.Vila (1980) montre que les effets tectoniques de la région se sont manifestés aussi par des phénomènes de torsion des axes des plis, les plus spectaculaires affectant le synclinal de Koudiat El Rhernouga-l'extrémité septentrionale de Djebel El Djezaiz et l'anticlinal de Djebel Osmane.

II.3.4. Relation du Trias

Les pointements triasiques des Hautes Plaines Sétifiennes sont isolés dans les plaines, on y voit pas ses relations avec les structures entourées, d'après plusieurs auteurs ; J.M .Vila (1980) et R.Guiraud (1990), le Trias de cette région laisse supposer qu'il aurait joué le rôle d'une semelle de glissement par sa construction plastique (marne, argile, gypse) ce qui a favorisé le glissement des nappes vers le Sud.

II.4. Les phases tectoniques

La configuration structurelle actuelle du Hautes Plaines Sétifiennes a laissé apparaître les traces de plusieurs phases tectoniques du cycle alpin. D'après plusieurs auteurs, les importantes phases tectoniques qui règnent dans la région et qui à sont l'origine de ce dispositif structural actuel sont :

II.4.1. La phase atlasique

Cette phase compressive se situe vers la fin du Lutétien, c'est la phase priabonienne à vergence sud au sens de J. M. Vila (1980). Elle marquée par l'arrêt des séries à la fin de l'Eocène. L'Oligocène qui y fait suite ne reflète plus du tout l'appartenance à une quelconque unité.

II.4.2. La phase du Miocène basal

Cette phase marquée par un hiatus dans la sédimentation, lequel n'est rompu que par la transgression du Burdigalien supérieur. Dans certains secteurs, ce Burdigalien fossilise des structures plissées à flancs verticaux évoquant des plis coffrés au Sud du Djebel Sekrine.

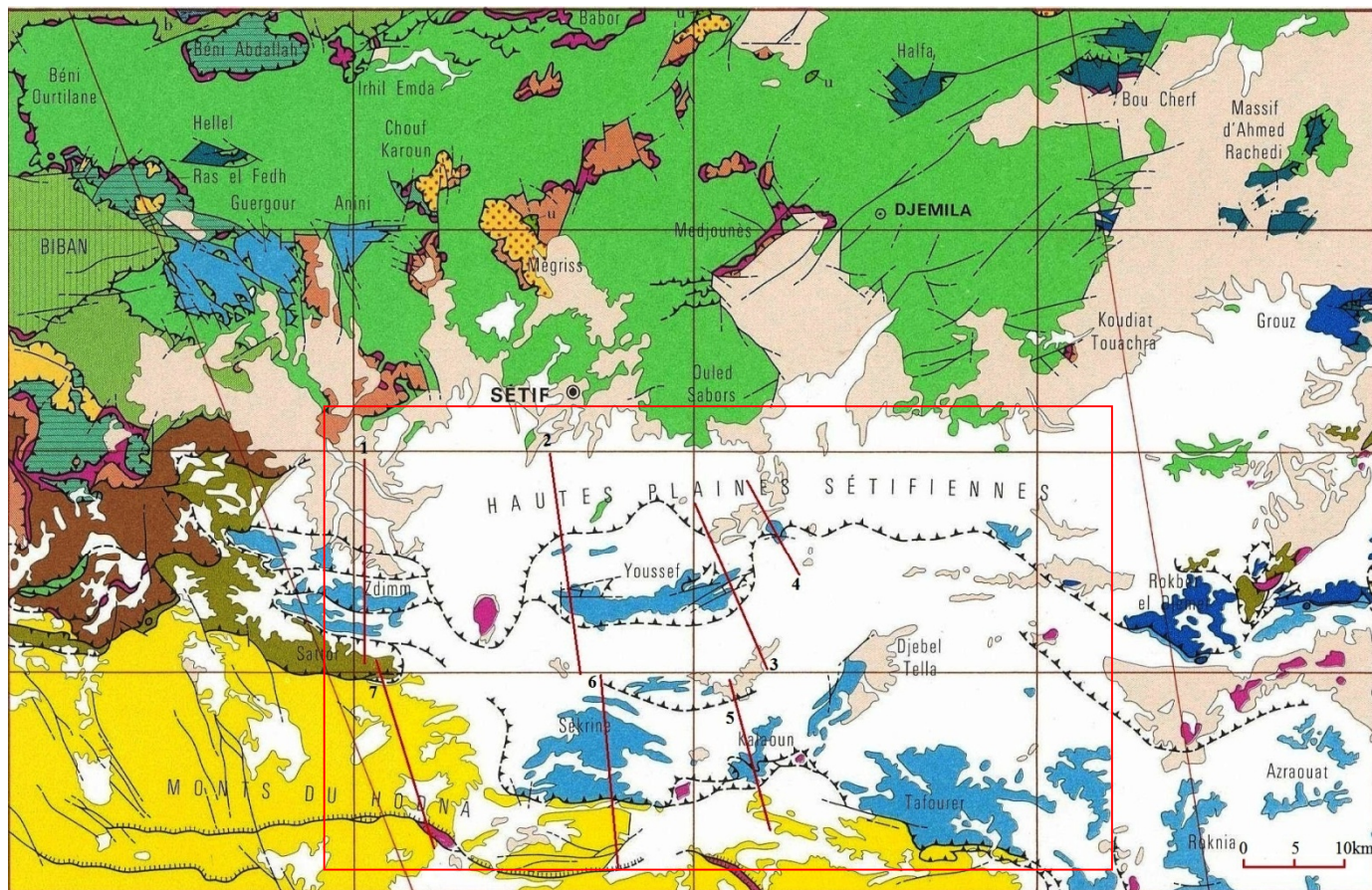
II.4.3. La phase alpine

Elle est responsable des grands chevauchements méridionaux où le Miocène est largement impliqué. Dans le domaine tellien, cette phase est responsable des nombreux contacts qui semblent se recouper ou se relayer sans laminage apparent. C'est la phase alpine qui est responsable des torsions d'axes, décrochements et compressions supplémentaires de l'autochtone hodnéen. Les nappes telliennes présentent des phénomènes analogues de torsion de plis. La tectonisation simultanée des nappes telliennes et de leur substratum paraautochtone ou autochtone prouve que leur mise en place ne peut être attribuée à un phénomène purement gravitatif (J.M.Vila ,1980).

II.4.4. La tectonique récente

Elle est responsable de l'orographie actuelle. Elle a déterminé le comblement des bassins Mio-Pliocènes, alimentés par des reliefs environnants. Elle s'est poursuivie par la déformation des assises villafranchiennes, peut-être faillées au Nord de Djebel Youssef et nettement bombées en anticlinal par la montée récente des gypses triasiques de Guellal entre Zdim et

Youssef (J.M.Vila ,1980). Toujours selon le même auteur, cette phase est responsable à des accidents cassants traversant d'Est en Ouest la partie méridionale de Djebel Sekrine et on fait rejouer les décrochements de même direction du Djebel Hadjar Labiode. Par ailleurs, ses effets sont faibles et se limitent à de vastes anticlinaux qui ont porté en altitude l'ensemble Djebel Tella-Djebel Kalaoun.



FORMATIONS PEU OU PAS TECTONISÉES

- Quaternaire
- Mio-Pliocène
- NAPPES DE FLYSCHS
- Nappe numidienne
- Nappe des flyshs mauritanien et massylien
- NAPPES TELLIENNES
- N. ultra-tellienne (u)
- N. type Barbacha (b)
- N. type Draa el Arba
- N. type Beni Abdallah
- N. supérieur à matériel éocène
- N. Bibanique
- Nappe de Djemila
- Nappe inférieure à matériel éocène
- Nappe du Djebel Sattor et unités éocènes à Huitres et à Nummulites
- Nappe péni-tellienne

NAPPE NERITIQUE CONSTANTINOISE



ENSEMBLE ALLOCHTONE SUD-SÉTIFIEN



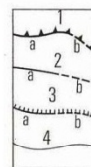
PARAUTOCHTONE ET AUTOCHTONE HODNÉENS



TRIAS EXOTIQUE OU EXTRUSIF



SIGNES CONVENTIONNELS

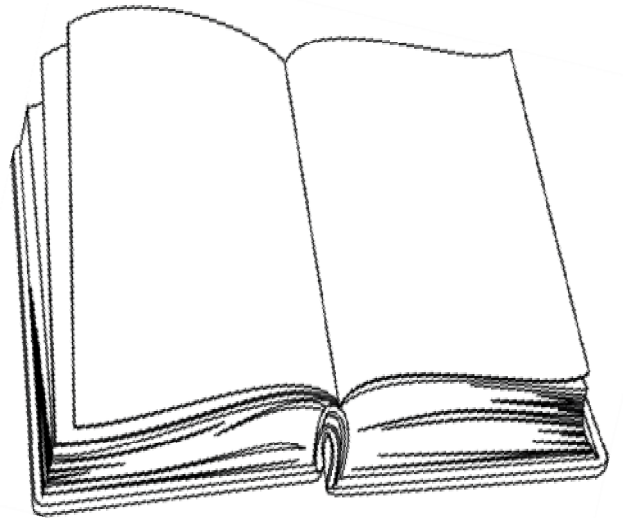


- 1-Chariages et chevauchements
- 2-Principales failles
- 3-Chevauchements alpins du Hodna
- a- visibles, b- cachés
- 4-Contact stratigraphique

1.2.3.4.5.6.7

Tracé des coupes interprétatives au 1/50000

Figure II. 5 : Carte géologique et structurale de la région (d'après la carte géologique de Sétif au 1/200.000).



Chapitre III :
Etude hydro-climatique

Introduction :

L'environnement a un impact majeur sur la zone d'étude et le degré de sécheresse qui est régi par plusieurs facteurs, dont les plus importants sont la latitude et l'élévation du niveau de la mer.

En effet, notre zone d'étude est située au Sud-est et à environ 100 Km à vol d'oiseau de la côte Méditerranéenne.

L'hydrologie du lieu est nécessaire et il est nécessaire d'analyser les effets que l'eau peut produire lors de la mise en œuvre de projets liés au système d'eau, et son impact sur le milieu environnant.

Les stations utilisées dans notre étude est **Ain zada** dont les coordonnées sont représentées dans le tableau suivant :

Station	Coordonnées géographiques		Altitude
	Longitude	Latitude	
Ain zada	5.20362	36.16657	941m

Tableau III.1. Les coordonnées géographiques de la station de Ain zada

III.1. Étude du sous bassin versant de l'oued BOUSELLAM AMONT

En Algérie, les grands bassins versants sont cartographiés et chacun est désigné par une nomenclature et un code mécanographique. Ils sont aussi subdivisés en sous bassins versants.

La zone d'étude est située dans un sous bassin versant l'oued **BOUSELLAM AMONT** qui s'écoule vers le nord.

- Bassin versant (BV 05) SOUMMAM
- Sous bassin versant (BV 15 SBV 06) l'oued BOUSELLAM AMOANT

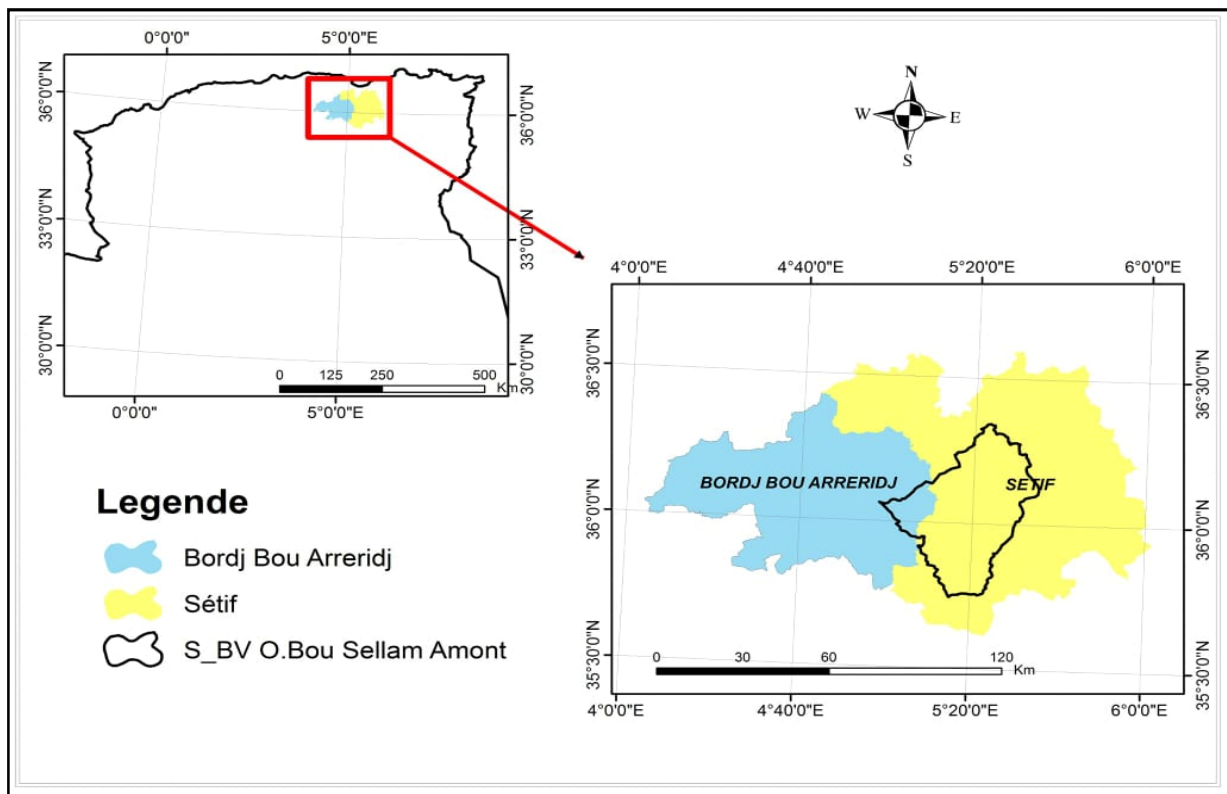


Figure III.1. La situation du sous bassin versant l'oued BOUSELLAM AMOANT (Arc GIS 10.3).

III.1.1. Hydrographie

L'Algérie orientale possède deux systèmes hydrographiques contrastés :

- ✓ les bassins septentrionaux de type exoréique à écoulements relativement fournis et à régimes quasiment pérennes (Côtiers constantinois, Soummam, Kébir-Rhumel, Seybouse et Medjerda),
- ✓ les bassins méridionaux de type endoréique à écoulements plutôt modeste et à régime quasi-temporaire (Hauts Plaines, Chott Melrhir et Chott El Hodna).

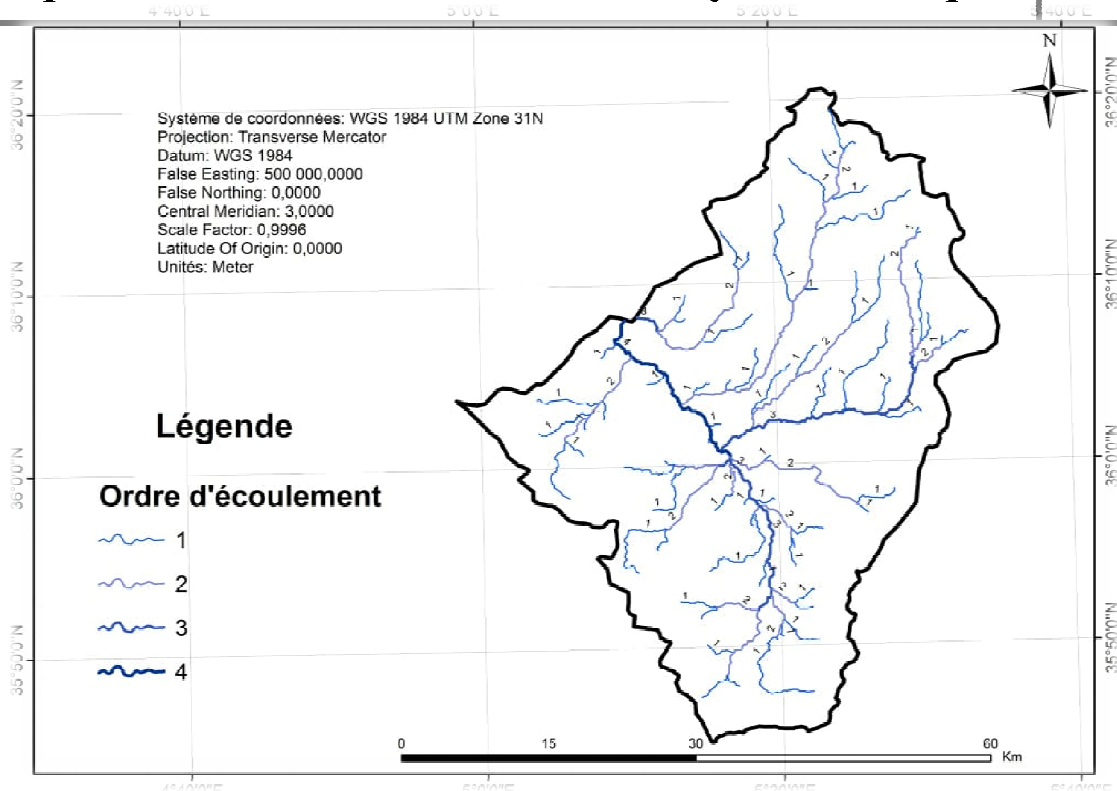


Figure III.2. Étude morpho métrique du sous BV de la zone d'étude

III.1.2.1. Paramètres physiques :

Le sous bassin versant **BOUSELLAM AMOANT** couvre une superficie de 1780 Km² avec un périmètre de 219 Km (mesuré par Arc GIS 10.3).

III.1.2.1.1 Indice de compacité de Gravelius (K_c)

La forme du bassin versant joue un rôle clé dans la méthode des écoulements de surface. Pour connaître la forme de notre sous bassin versant, on calcule l'indice de compacité de Gravelius (K_c).

Cet indice permet de comparer le périmètre du sous bassin versant de BOUSELLAM AMOANT à celui d'un cercle de surface identique. Il est défini par la formule :

$$K_c = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \text{ tel que :}$$

P : périmètre du sous bassin versant (Km).

A : superficie du sous bassin versant (Km²).

$$K_c = 0.28 \frac{219,57}{\sqrt{1780,36}} = 1,45$$

Pour notre cas d'étude la valeur du coefficient de compacité est kc = 1,45 Si : Kc > 1 Notre bassin a une forme « allongée ».

III.1.2.1.2. Dimension du rectangle équivalent

Le rectangle équivalent est caractérisé par la longueur « L » et la largeur « l » définies respectivement par les formules suivantes :

Les dimensions du rectangle équivalent sont déterminées par les formules :

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

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

Avec :

- ✓ L : longueur du rectangle équivalent (Km).
- ✓ l : largeur du rectangle équivalent (Km).
- ✓ K_c : indice de compacité de Gravelius
- ✓ A : surface du bassin versant

Sachant que : $K_c = 1.45$ et $A = 1780,36 \text{ km}^2$.

On obtient : $L = 54.62 \text{ km}$ et $l = 19.66 \text{ Km}$.

III.1.2.1.3 indice de relief

La vitesse d'écoulement de l'eau, ou écoulement, est liée à la forme de la pente, qui est considérée comme très importante dans les études du comportement hydrologique des bassins versants.

III.1.2.2.1. Courbe hypsométrique :

L'évaluation des paramètres des reliefs du sous bassin versant sera faite à travers la réalisation de la courbe hypsométrique. Cette courbe a été établie sur la base des données statistiques du tableau ci-dessous (**Tableau III.2**) qui présente la répartition altimétrique par tranche d'altitude pour sous bassin versant d'Oued BOUSELLAM AMOANT (**figure III.3**)

Tranche D'altitude (m)	Surface km ²	% surface	Surface cumulées km ²	% surface cumulées	(ai × hi)
1735 - 1700	0,07	0,03	0,07	0,03	120,22
1700 - 1600	1,34	0,07	1,41	0,1	2211
1600 - 1500	4,52	0,25	5,93	0,35	7006
1500 - 1400	12,67	0,71	18,6	1,06	1837,15
1400 - 1300	31,19	1,75	49,79	2,81	42106,5
1300 - 1200	112,46	6,31	162,25	9,12	140575
1200 - 1100	226,26	12,70	388,51	21,82	260199
1100 - 1000	410,61	23,06	799,12	44,88	431140,5
1000 - 900	852,93	47,90	1652,05	92,78	810283,5
900-800	128,31	7,20	1780,36	99,98	109063,5
Total	1780,36	99,98			1804542,37

Tableau III 2. Répartition altimétrique du sous sous-bassin versant BOUSELLAM AMOANT

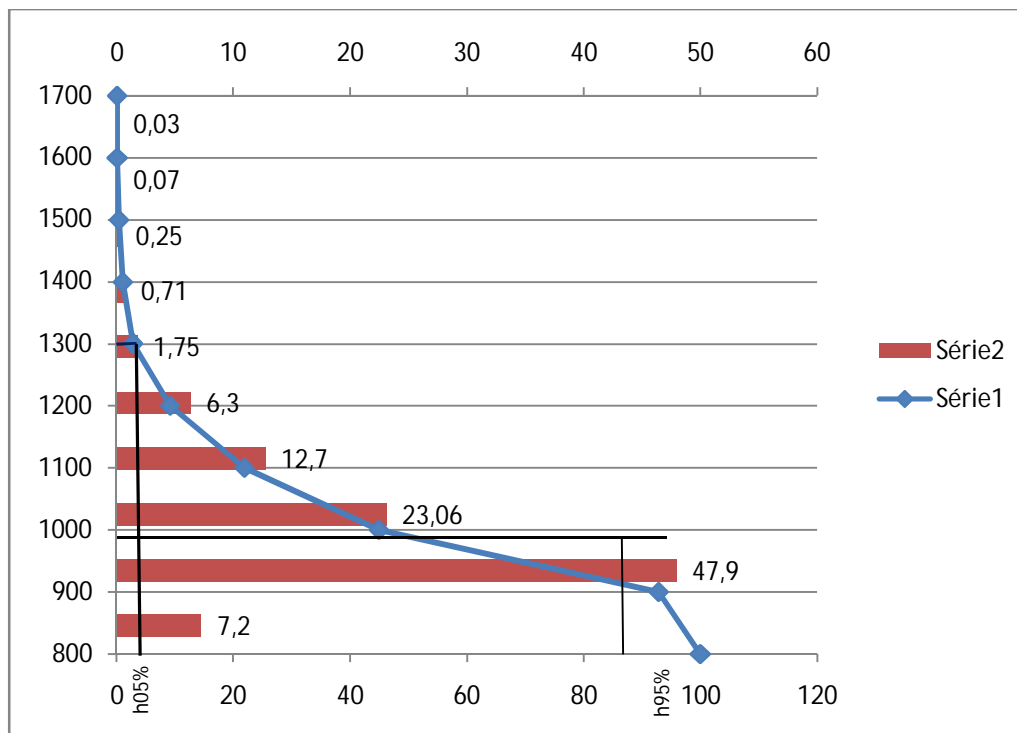


Figure III.3. Courbe hypsométrique du sous bassin BOUSELLAM AMOANT

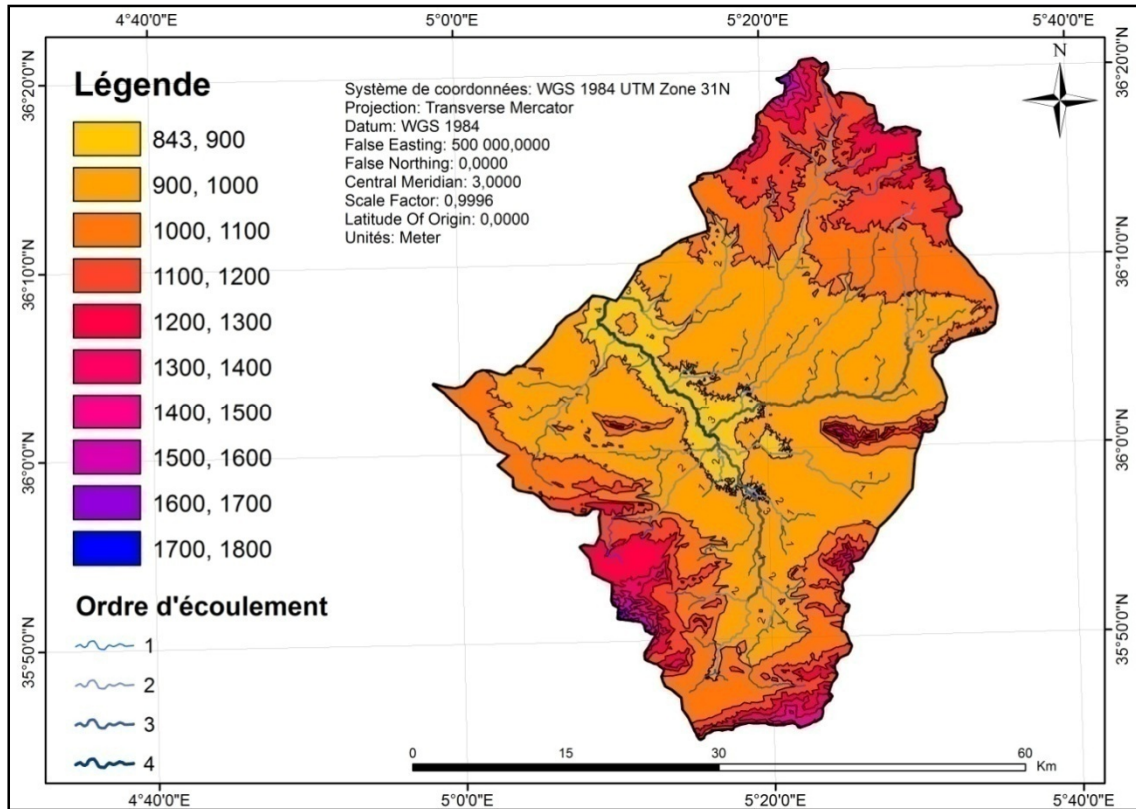


Figure III.4. Carte hypsométrique du sous bassin versant (Arc GIS 10.3).

La courbe hypsométrique du sous bassin versant de **BOUSELLAM AMOANT** est présentée en **Figure III .3** D’après cette courbe, la moitié de la superficie du bassin versant se trouve entre 100 et 1 200 m.

III.1.2.2.2. Les altitudes caractéristiques

- **Altitude moyenne** : Elle est utilisée dans l’évaluation de certains paramètres ainsi que dans la mise en œuvre du modèle hydrologique. Elle est calculée par la formule :

$$\bar{H} = \frac{\sum(a_i \times h_i)}{\sum a_i} = \frac{1804542,37}{1780,36} = 1013.58 \text{ m}$$

-**Altitude médiane** : C’est l’altitude lue sur la courbe hypsométrique (**Figure III. 3**) et correspondante à 50% de la surface totale du bassin versant.

L’altitude médiane de sous bassin versant de **BOUSELLAM AMOANT** est située à 1013,58m

- **Altitude de fréquence (5% et 95%)** : Ces deux paramètres seront utilisés pour le calcul de l’indice de pente globale. Ils représentent la valeur de l’altitude lue sur la courbe hypsométrique (**Figure III.3**) au point d’abscisse 5% et 95% de la surface du bassin versant.

- Altitude de fréquence 5% (H5%) = **1299 m.**
- Altitude de fréquence 95% (H95%) = **998 m.m**

- **Altitude maximale et minimale :** Elles sont obtenues directement à partir de la carte hypsométrique du sous bassin versant (**Figure III .4**) et représentent respectivement l'altitude du point le plus élevé et celle du point le plus bas (généralement l'exutoire).

Altitude maximale = **1735m.**

Altitude minimale = **843 m.**

Altitude moyenne	Altitude Médiane (H50%)	Altitude de Fréquence 5% (H5%)	Altitude de fréquence 95% (H95%)	Altitude maximale	Altitude minimale
1013,58 m	999m	1299 m	998 m	1735 m	843m

Tableau III.3. Récapitulatif des altitudes caractéristiques.

III.1.2.2.3. Indice de pente globale

Il est intéressant de connaître la pente moyenne du bassin versant, car elle a une influence directe sur l'infiltration, le ruissellement et l'évaporation.

Cet indice de pente globale est obtenu à l'aide de la relation suivante :

$$I_g = \frac{H5\% - H95\%}{L} \text{ Avec : H5\% : altitude de fréquence 5\% = 1299 m.}$$

H95% : altitude de fréquence 95% = 998m.

L : longueur du rectangle équivalent = 54,62Km

$$I_g = \frac{1299 - 998}{54.62} = 0.0153$$

On obtient un indice de pente globale moyen $I_g = 5,51$ qui traduit un relief modéré favorisant l'infiltration.

III.2. Étude hydroclimatique

III.2.1. Précipitations

Les précipitations constituent la composante principale de l'hydrologie. La connaissance de cet apport d'eau au sol est essentielle pour apprécier l'état des réserves en eau du sol, la recharge et le régime des cours d'eau.

III.2.1.1. Précipitations mensuelles :

Pour la région du barrage de Soubella (**BOUSELLAM AMOANT**), les données des précipitations moyennes mensuelles de l'année **1986 à 2004** montrent l'existence de deux périodes distinctes:

- Une période humide s'étendant du mois de septembre au mois de mai avec un maximum enregistré au mois de mai.
- Une autre sèche de juin à août avec un minimum enregistré au mois de juillet (**Tableau III .4 et Figure III .5**)

Mois	sept	oct	nov	Déc	Jan	Fév	mars	avr	mai	Juin	Juil	Aou	Totale
P(mm)	37,05	19,87	32,05	43,89	34,21	24,37	26,21	38,1	32,45	17,63	11,69	12,74	330,26

Tableau III.4. Précipitation moyennes mensuelles de la station de Ain Zada (1986-2004).

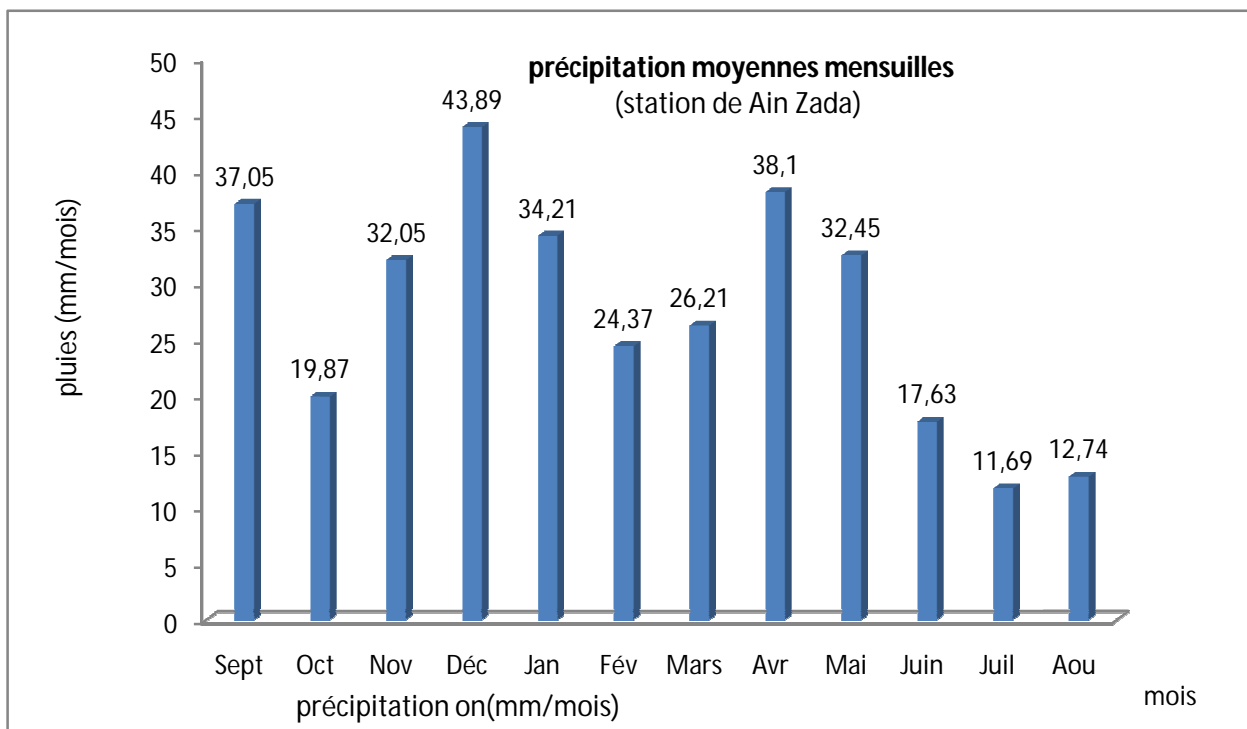


Figure III .5. Représentation graphique des précipitations moyennes mensuelles (station de AIN ZADA 1986-20004).

Années	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996
Tot.ann	477,4	237,09	382,3	297,7	250,3	262 ,5	252	203,2	394,9	396,7	204,7
Années	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	/	/	/
Tot.ann	328,1	299,9	249,1	247,8	267,5	632,9	513,4	374,7	/	/	/

Tableau III.5.Récapitulatif des précipitations annuelles au niveau de la station de Ain Zada (1986-2004).

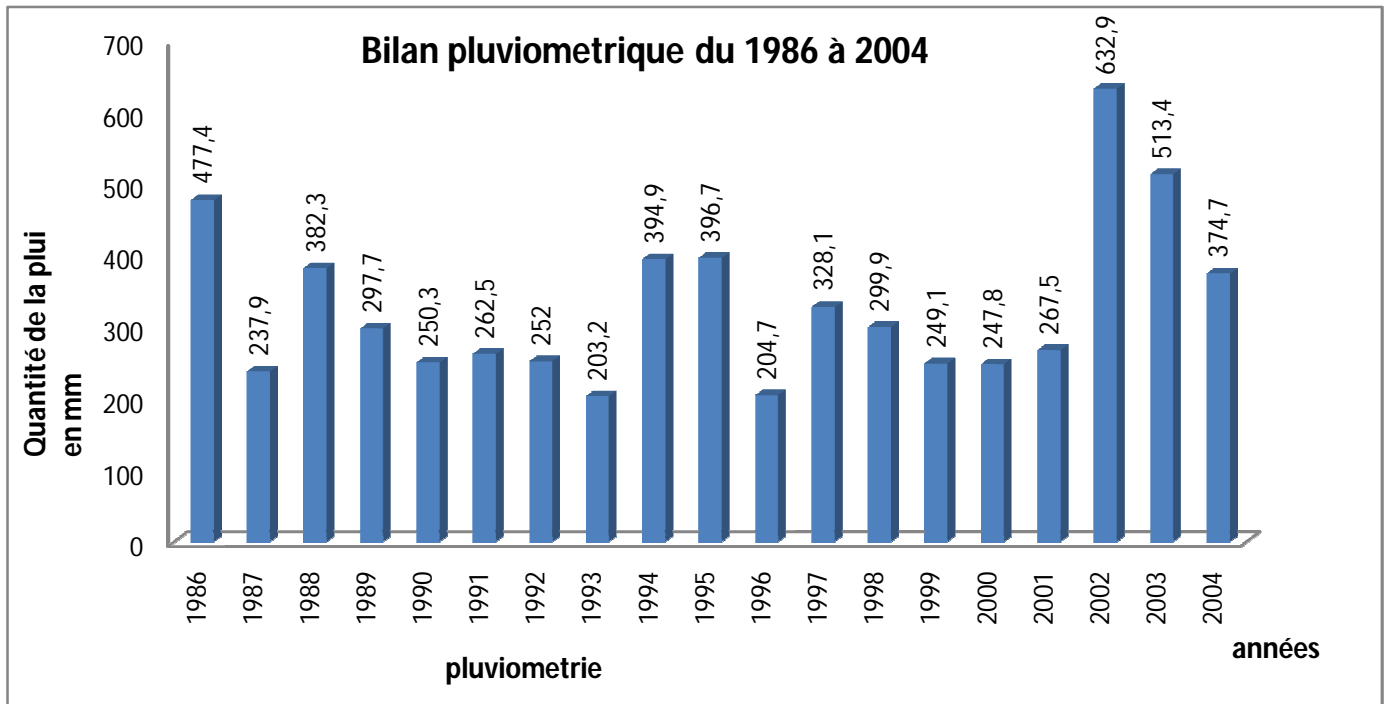


Figure III.6. Évolution des précipitations interannuelles de station d'Ain Zada.

Interprétation :

Selon les valeurs de **tableau III.5**, la moyenne annuelle est de l'ordre de **316.85 mm**. L'historique montre une évolution des précipitations dans le temps sur une période de **19 ans**. La station d'Ain **Zada** a enregistré 7 ans de précipitations supérieures à la moyenne annuelle, et 12 ans de précipitations inférieures à la moyenne annuelle.

III.2.2. Températures

C'est un paramètre qui joue un rôle très important dans l'établissement de l'équilibre de bilan hydrologique car c'est le facteur officiel dans le processus d'évaporation et de condensation.

Pour ce qui est de notre étude, on dispose d'une série de données de température pour la station d'AIN **ZADA** mise à notre disposition par l'ONM période **1886-2004**.

III.2.2.1. La série 1986-2004

La température moyenne interannuelle enregistrée à la station de *AIN ZADA* durant la période de 1986 jusqu'à 2004 est de **18.7°C** (Tableau III.6).

Mois T°C	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Moy
Moy	21	15	9	6	5	6	9	12	16	21	25	24	14

Tableau III .6. Températures, moyennes mensuelles et annuelles

(station d'AIN ZADA 1986-2004).

Par ailleurs, on constate l'existence d'un écart considérable entre l'été chaud et sec et l'hiver froid. En effet, le mois le plus froid est le mois de Janvier avec une température moyenne mensuelle de **5°C**. Le mois de juillet est le plus chaud avec une température qui atteint **25°C** (Figure III .7).

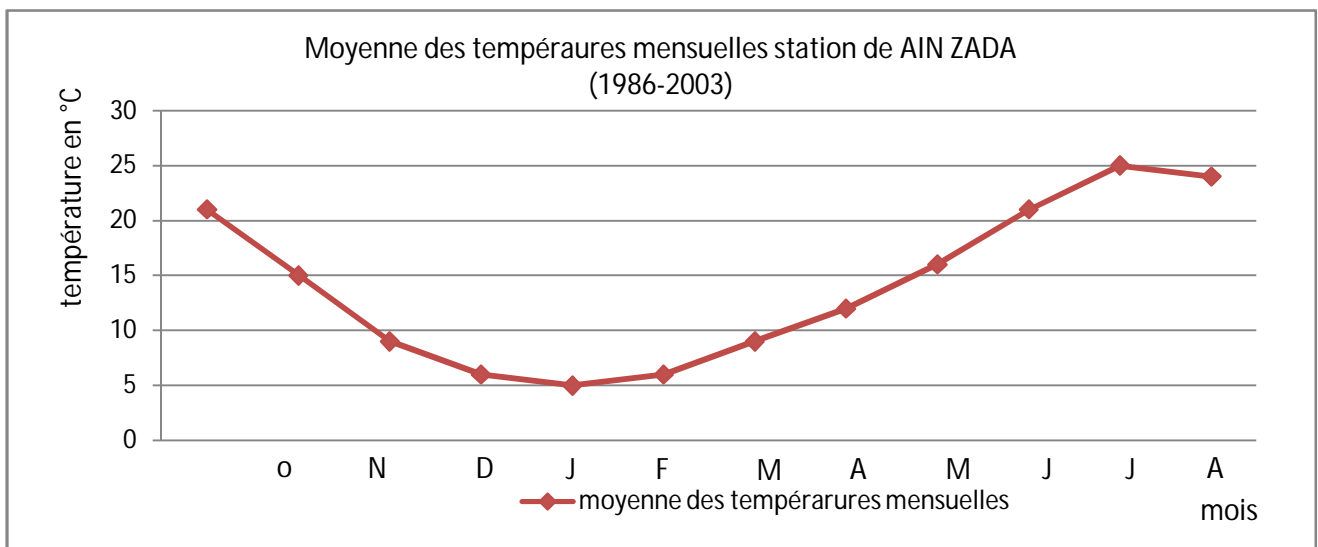


Figure III .7. Moyenne des températures mensuelles station d'Ain Zada (1986-2003).

III.2.2.2. L'amplitude thermique annuelle

Elle signifie la différence entre la température moyenne du mois le plus chaud et celle du mois le plus froid. Elle est assez élevée atteignant 20°C.

III.2.2.3. Régime climatique

Pour déterminer le régime climatique de la zone d'étude (BOUSELLAM AMOANT), nous avons retenu les méthodes qui mettent en jeu la relation entre précipitation et température.

III.2.2.3.1. Indice de DEMARTONNE

C'est un indice d'aridité qui permet de définir le milieu climatique.

$$A = P / (T + 10).$$

T : température moyenne annuelle en °C = 20°C.

P : précipitation moyenne annuelle en mm. P = 330,26 mm.

Pour la région de BOUSELLAM AMOANT, indice d'aridité de DEMARTONNE est égal à 11,00. Il s'agit d'un climat très sec (Figure III.8).

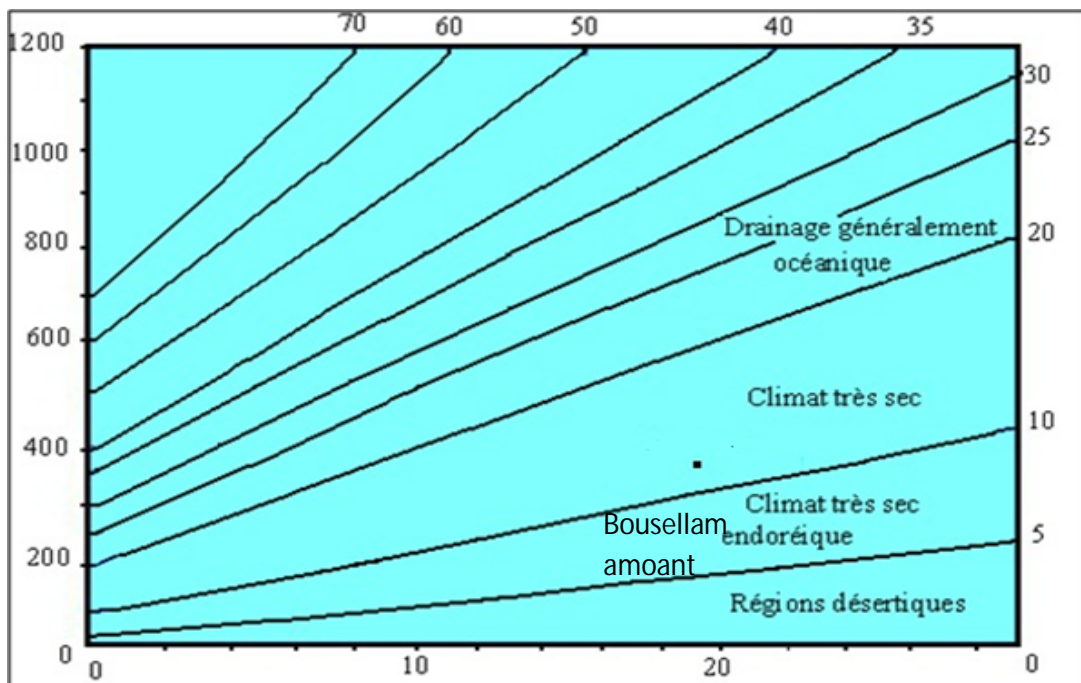


Figure III.8. Abaque d'indice d'aridité de DEMARTONNE à la région de BOUSELLAM AMOANT

III.2.2.3.2. Diagramme ombro-thermique de GAUSS et BAGNOULS :

Les rythmes de température et précipitation au cours de l'année, nous ont permis de faire ressortir les caractéristiques climatiques.

La saison sèche dans la zone de BOUSELLAM AMOANT est assez longue. S'étend sur trois (03) mois, débutant au mois de **Juin** et s'achevant à **Aout**. (Figure III .9) .

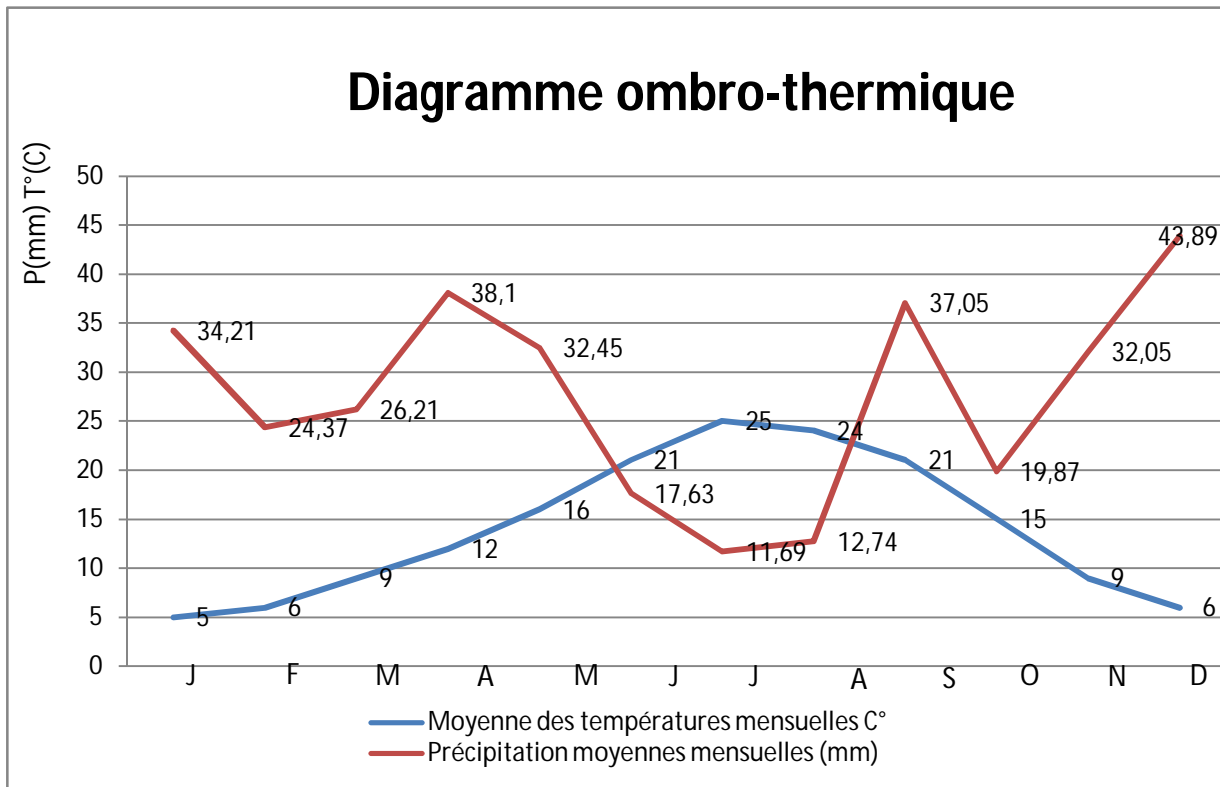


Figure III.9. Diagramme ombro-thermique de la région de BOUSELLAM AMOANT

III.2.2.3.3. Classification bioclimatique de L.EMBERGER

On utilise le climatogramme de **L.EMBERGER** pour définir le climat de la région étudiée, C'est un abaque qui comporte :

-En ordonné les valeurs du quotient pluviométrique Q_3 , donnés par la relation suivante :

$$Q_3 = \frac{3.34 \times P}{M - m}$$

- M : moyenne des maximums du mois le plus chaud en degré absolu (°C).
- m : moyenne minimum du mois le plus froid en degré absolu (°C).

- p : précipitation moyenne annuelle en mm.

-En abscisse c'est la moyenne des minima de la saison froide (°C).

$$Q_3 = \frac{3.43 \times 330.26}{20 - (5)}$$

Pour la région de BOUSELLAM AMOANT , le Q3 est égal à 75.51 et la moyenne des minimales de la saison froide est égale à 5°C. Le point obtenu sur l'abaque (Figure III .10) montre qu'il s'agit d'un climat **Sub Humide**

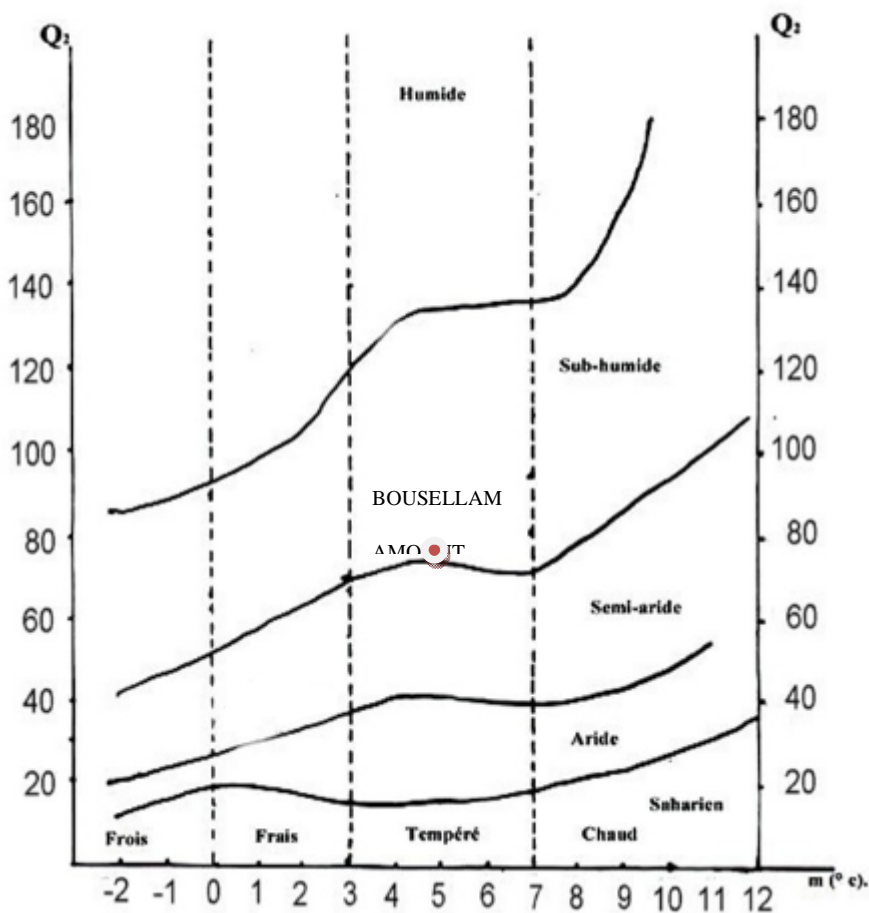


Figure III.10. Climatogramme de L.EMBERGER la région de BOUSELLAM AMOANT

III.2.3.Évapotranspiration

C'est un paramètre essentiel, car il représente, une partie de la fonction de sortie dans le bilan hydrologique d'une région donnée. Cependant il est difficile à mesurer, car il dépend de plusieurs facteurs qui sont variables dans l'espace et dans le temps, tels que la température, les précipitations, l'état du sol et la végétation.

Pour remédier à ce problème, on a appliqué les lois empiriques *THORNTHWAITE* afin d'estimer l'ETP et l'ETR à la station de **BOUSELLAM AMOANT** pour la période allant de **1986** jusqu'à **2004**.

III.2.3.1. Calcul de l'ETP selon THORNTWAITE

Elle s'exprime par la formule suivante : $ETP = 1.6 (10.T/I)^a$

- **ETP** : Evapotranspiration potentielle mensuelle en centimètre pour 30 jours et 12 heures d'ensoleillement par jour.
- **T** : Température moyenne mensuelle en °c.
- **I** : Indice thermique annuel : $I = \sum_i i$
- **i** : Indice thermique mensuel : $i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1.514}$

a : Constante fonction de l'indice thermique annuel : $a = \left(\frac{1.6}{100} \times I\right) + 0.5$

Ensuite, on fait subir à l'ETP ainsi calculée une correction suivant la latitude en la multipliant par le facteur correctif K. Les résultats sont représentés dans le tableau suivant (Tableau II.7).

ois	Sept	Oct.	Nov.	Déc.	Jan.	Fev.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aout	Année
T°C	21	15	9	6	5	6	9	12	16	21	25	24	
i	8,78	5,27	2,43	1,31	1	1,31	2,43	3,76	5,81	8,78	11,43	10,74	63,05
ETP	98,21	59,16	27,37	14,84	11,27	14,84	27,37	42,24	65,21	98,29	127,86	120,2	706,86
K	1.03	0.97	0.86	0.85	0.87	0.85	1.03	1.09	1.21	1.21	1.23	1.16	
ETPC	125.22	72.11	27.41	12.07	11.10	12.28	33.04	61.31	106.32	167.02	218.37	206.36	1052.62

Tableau II.7. Calcul de l'ETP par la méthode de THORNTHWAITE à la station de Ain Zada (période 1986-2004).

L'évapotranspiration potentielle calculée pour la station de **BOUSELLAM AMOANT** par la méthode de *THORNTHWAITE* (période 1986-2004) est d'environ **1052 mm**.

III.2.3.2. Bilan hydrique de THORNTHWAITE

Le bilan hydrique proposé par *Thornthwaite* permet d'estimer mensuellement l'évapotranspiration réelle, en tenant compte de la recharge des sols due aux précipitations, et de la recharge due à la réserve facilement utilisable (RFU). Sa détermination nécessite certaines données pédologiques par ailleurs par Thornthwaite.

Le calcul fait intervenir l'ETP et les précipitations (P) ; le principe est le suivant :

- Si $P > ETP$, l'ETP=ETR, l'excédent va alimenter la (RFU) ; la quantité qui dépasse la réserve cumulée de 40 mm, constituera l'excédent de Thornthwaite. Cet excédent va alimenter le ruissellement et l'infiltration.
- Si $P < ETP$, l'ETP=ETR
- Si $P+RFU < ETP$, $ETR = P+RFU$

Mois	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar.	Avr.	Mai.	Juin.	Juil.	Aout.	Moy
P (mm)	37,05	19,87	32,7	43,89	34,21	24,37	26,21	38,1	32,45	17,63	11,69	12,74	280,58
ETP (mm)	98,21	59,16	27,37	14,84	11,27	14,84	27,37	42,24	65,21	98,29	127,86	120,2	706,86
ETR (mm)	37,05	19,87	27,37	14,84	11,27	14,84	26,21	38,1	32,45	17,63	11,69	12,74	252,79
RFU (mm)	0	0	5,33	34,38	40	40	0	0	0	0	0	0	114,39
D (mm)	61,16	39,29	0	0	0	0	1,16	4,14	32,76	80,66	116,17	107,46	442,8
E (mm)	0	0	0	0	17,32	26,85	0	0	0	0	0	0	44,17

Tableau III.8. Bilan d'eau de *Thornthwaite* appliqué à la région du sous bassin versant de BOUSELLAM AMOANT période 1986-2003)

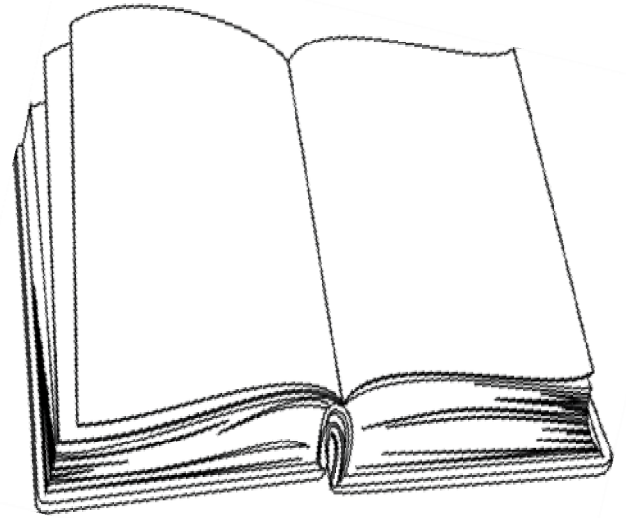
Nous constatons que l'ETP est inférieure aux précipitations ce qui a conduit à un déficit durant la période hydrologique.

Les pluies de faible intensité ne jouent pas un rôle très important dans l'alimentation des nappes par infiltration et une proportion des eaux précipitées est reprise par l'évaporation. Seules, les pluies torrentielles doivent donc contribuer à l'alimentation des nappes.

Conclusion :

Ce chapitre comprend une brève présentation du sous bassin versant de BOUSELLAM AMOANT, et alors et nous mentionnons les informations les plus importants qui y sont contenues :

- ✚ Une température moyenne de la région est de l'ordre de 20°C
- ✚ Des précipitations moyennes mensuelles (1986_2003) est de l'ordre de 330,26 mm
- ✚ L'évaporation potentielle estimée par la méthode de (période 1996_2003) et d'environ 1052.6
- ✚ le bilan hydrique proposé par *Thornthwaite* ne s'adapte pas aux zones à climat semi-aride. Ceci est dû aux fortes valeurs de l'évapotranspiration enregistrées dans cette zone.



Chapitre IV
cartographie des
principaux facteurs de
l'érosion hydrique

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

IV.1 Introduction :

Un grand nombre de modèles empiriques (quantitatif et qualitatif) ont été adaptés pour prédire, caractériser et comprendre le phénomène de l'érosion hydrique et mettre en évidence les facteurs qui entrent en jeu tout le long de ce processus. La méthodologie entreprise vise à exploiter des données satellitaires, topographiques, géologiques et climatiques pour la restitution et la cartographie des zones exposées à l'érosion hydrique après les avoir intégrées et analysées dans un environnement SIG.

Les résultats de cette approche donneront un aperçu pour identifier et interpréter des formes d'érosion qui se sont manifestées sur le bassin, en relation avec les degrés de vulnérabilité des sols. (Aké et al, 2012).

L'objectif de ce chapitre est donc de :

- Identifier les principaux facteurs influençant l'érosion hydrique
- Réunir les données existantes sur chaque facteur et les intégrer dans un SIG à savoir le Arcgis 10.3
- Etablir une carte du sous bassin étudié pour chaque facteur
- Interprétation des cartes réalisées afin de donner un aperçu sur l'influence de chaque facteur individuellement sur l'érosion hydrique.

IV.2 Le facteur de l'érosion hydrique :

L'érosion représente l'ensemble des phénomènes externes à la surface du sol ou en profondeur qui arrache, tout ou en partie, les terrains modifiant ainsi le relief. L'érosion hydrique des sols consiste en un détachement et un transport des particules du sol sous l'action mécanique en général combinée de la pluie et du ruissellement. Celle-ci se développe lorsque les pluies, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent en surface en emportant les particules de terre. La taille et l'impact des gouttes sont des facteurs importants dans ce processus de destruction et d'arrachement (phénomène d'éclaboussement). L'énergie cinétique des gouttes qui tombent est très élevée dans les régions humides. En effet, le pouvoir érosif des pluies tropicales peut être de 2 à 6 fois plus important que dans les zones tempérées (Thomas, 1994).

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

Les particules de sol très fines qui sont détachées de la surface par l'impact des gouttes peuvent obstruer les pores de la couche supérieure du sol et réduire considérablement le taux d'infiltration (phénomène de battance) augmentant alors les risques d'ablation du sol et de ruissellement en surface. Lorsque celui-ci se concentre, des griffures, rigoles et ravines apparaissent. Il s'agit de formes d'érosion liées aux processus de formation du ruissellement, de détachement et de transport des matériaux vers l'aval, se combinant dans le temps et dans l'espace. Bien que l'eau soit définie comme un agent morphogène moteur de l'érosion, d'autres facteurs interviennent alors dans ce processus et conditionnent son impact.

Ces facteurs se regroupent en quatre domaines : la topographie, le sol, l'occupation du sol et le climat (Wischmeier et Smith, 1978 ; King et Le Bissonnais, 1992). Chacun de ces domaines se décline en plusieurs effets, chacun participant au processus. Ainsi, par exemple, le facteur topographique regroupe les effets de l'inclinaison, de la longueur et de la forme de la pente. Les précipitations en comprennent aussi plusieurs dont l'intensité de l'averse, sa durée, la grosseur des gouttes et leur vitesse de chute. La résultante de l'ensemble de ces facteurs élémentaires caractérise les processus érosifs, les rendant de ce fait très complexes à modéliser. Ces quatre facteurs se distinguent par leur origine naturelle ou anthropique et peuvent donc se classer en deux catégories.

IV.3 Elaboration du SIG l'érosion hydrique de la zone d'étude :

Le choix de notre zone d'étude relève de plusieurs critères : c'est l'une des régions les plus touchées par le phénomène de **l'érosion hydrique**, elle présente une géographie stratégique par ses reliefs ainsi que ses limites administratives avec Jijel à l'Est, Msila au Sud, BBA à l'Ouest et la wilaya de bougieau Nord.

IV.4 Acquisition des données :

Plusieurs couches d'information de base constituent le système d'informations géographique de notre zone d'étude. On les utilise afin d'effectuer des opérations sur nos données et obtenir des couches d'informations dérivées. Ces dernières sont, selon certains critères, utilisées afin de définir un modèle conduisant à la production des pièces finales qui sont dans ce cas les cartes de susceptibilité.

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

IV.5 Composition du SIG de La zone d'étude :

Le projet SIG de cette étude traite différentes cartes de base ainsi que des cartes dérivées de premier et second ordre composées d'extensions multiples à l'instar, Grid, Shape ...etc.

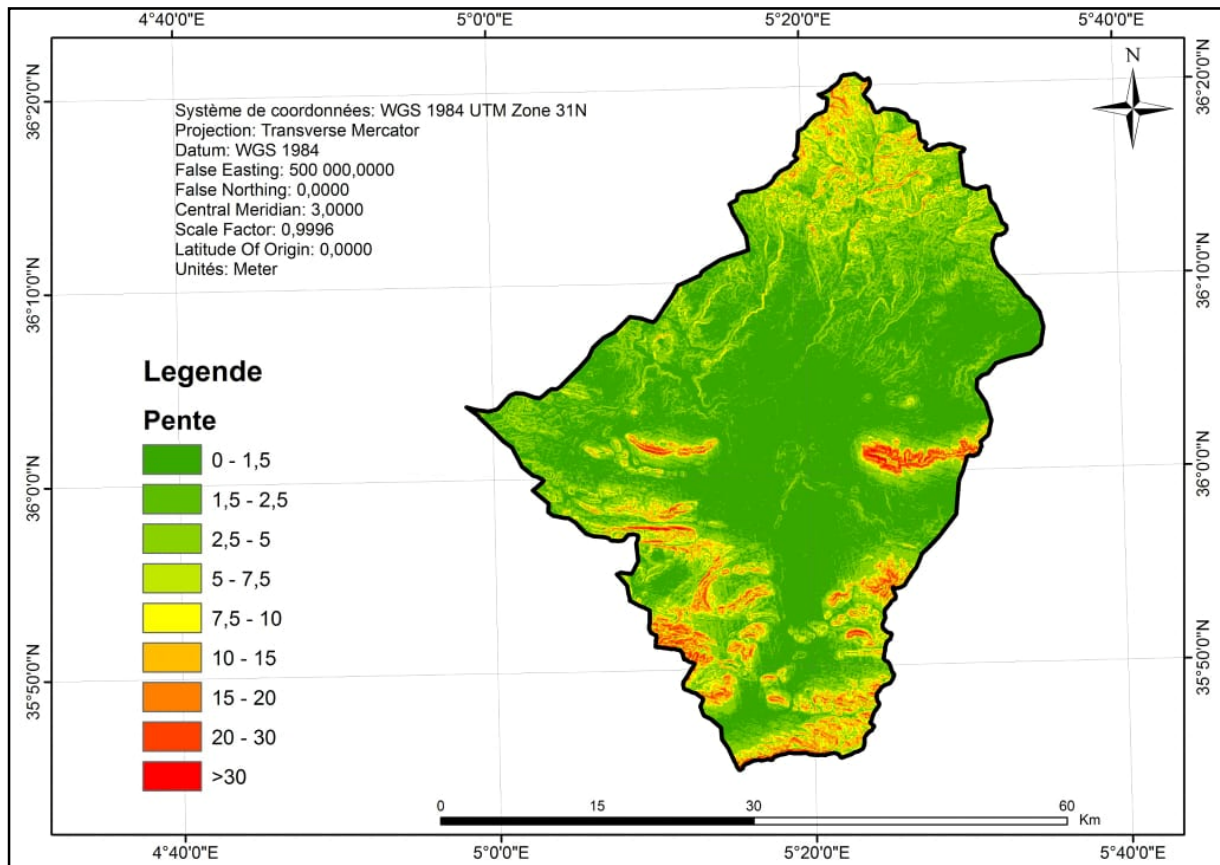
IV.6 Les facteurs d'ordre naturel :

IV.6 .1 La topographie : la carte des pentes

La pente influence grandement l'importance de l'érosion par son action gravitaire et fournit son énergie érosive à l'eau. Ainsi l'action de l'érosion augmente fortement avec la pente, car le détachement des particules est lié au carré de la vitesse de l'eau. L'inclinaison de la pente agit directement sur la vitesse de ruissellement. Lorsque celle-ci croît, l'énergie cinétique du ruissellement augmente et accélère le transport solide vers le bas, en augmentant l'impact de l'ablation des matériaux détritiques. Les pertes en matériaux terrigènes croissent donc de manière exponentielle avec l'inclinaison de la pente (Hudson, 1973 ; Roose, 1977 ; Wischmeier et Smith, 1978). Le facteur « longueur de pente » contribue également sur le volume ruisselé (Collinet et Valentin, 1979 ; Le Bissonais, 1988) mais son influence n'est ni constante, ni très élevée, de même que sa forme ou courbure (convexe, concave, homogène ou gauchie) qui intervient dans le phénomène érosif (Wischmeier, 1974 ; Maurizot et Delfau, 1995). La pente participe ainsi aux phénomènes d'érosion du fait de sa forme, de son inclinaison et de sa longueur. Dans le cadre de ce travail, nous retiendrons uniquement l'inclinaison de la pente, par le biais de sa prépondérance dans le paramètre topographique.

Cette carte est dérivée du model numérique de terrain (MNT). Un classement global des pentes du secteur étudié en fonction du pourcentage de la pente a été effectué. La carte des pentes permet de visualiser rapidement le degré d'inclinaison des versants ; ainsi, on observe sur cette carte que les reliefs plats se concentrent au niveau de la vallée de la Soummam et la plaine de Saleh Bey, tandis que les reliefs les plus accidentés et les plus pentus se concentrent dans la partie sud de la wilaya de Sétif. La carte des pentes est utilisée aussi pour la réalisation de la carte de susceptibilité.

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique



**Figure IV .1 : Carte des pentes du sous bassin versant deBOUSELLAM AMONT
 (Réaliser par nos soins sous ArcGIS)**

Interprétation de la carte des pentes

La pente constitue un facteur très important dans la détermination de la sensibilité des terrains au glissement. La carte des pentes a été établie selon cinq classes, représentées dans le tableau 1 :

Classe des pentes en degré	Sensibilité au l'érosion hydrique
<5%	Très Faible
5-15%	Faible
15-30%	Forte
>30 %	T Forte

Tableau IV .1 : classification des pentes

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

A partir de la carte des pentes en fonction de leur sensibilité, on constate que :

Les pentes très faibles : peu sensibles au phénomène de l'érosion hydrique représenté sur la carte par un couleur vert foncé, occupent généralement les plaines alluviales telles que la plaine de l'oued Soummam.

Les pentes faibles et modérée : représentent la majorité du terrain étudié, couleur vert clair et jaune elles ont des valeurs comprises entre 5 et 15 %, et 15% à 25% contient une répartition des érosions hydrique qui est moyenne.

Les pentes fortes et très fortes : représentées par les couleurs orange et rouge, sont localisées dans les zones à fort relief, surtout dans la portion Sudet la partie Nord du secteur d'étude où l'on trouve de nombreux sommets dépassant les 1000 m d'altitude, là on a détecté la majorité de l'érosion hydrique de terrains dans la zone d'étude. L'inclinaison des versants est un facteur de fragilité incontestable qui favorise aux terrains de érodés. Plus la pente est grande et longue, plus l'érosion hydrique est grande.

IV.6 .2 Carte du réseau hydrographique :

Cette carte est dérivée du modèle numérique de terrain de la région sous bassin versant l'oued BOUSELLAM AMONTelle est obtenue grâce à des traitements d'image du MNT à l'aide du logiciel ARC GIS. Le résultat final est la carte du réseau hydrographique du secteur étudié avec les principaux cours d'eaux et leurs affluents. La carte du réseau hydrographique est utilisée pour la réalisation de la carte de susceptibilité.

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

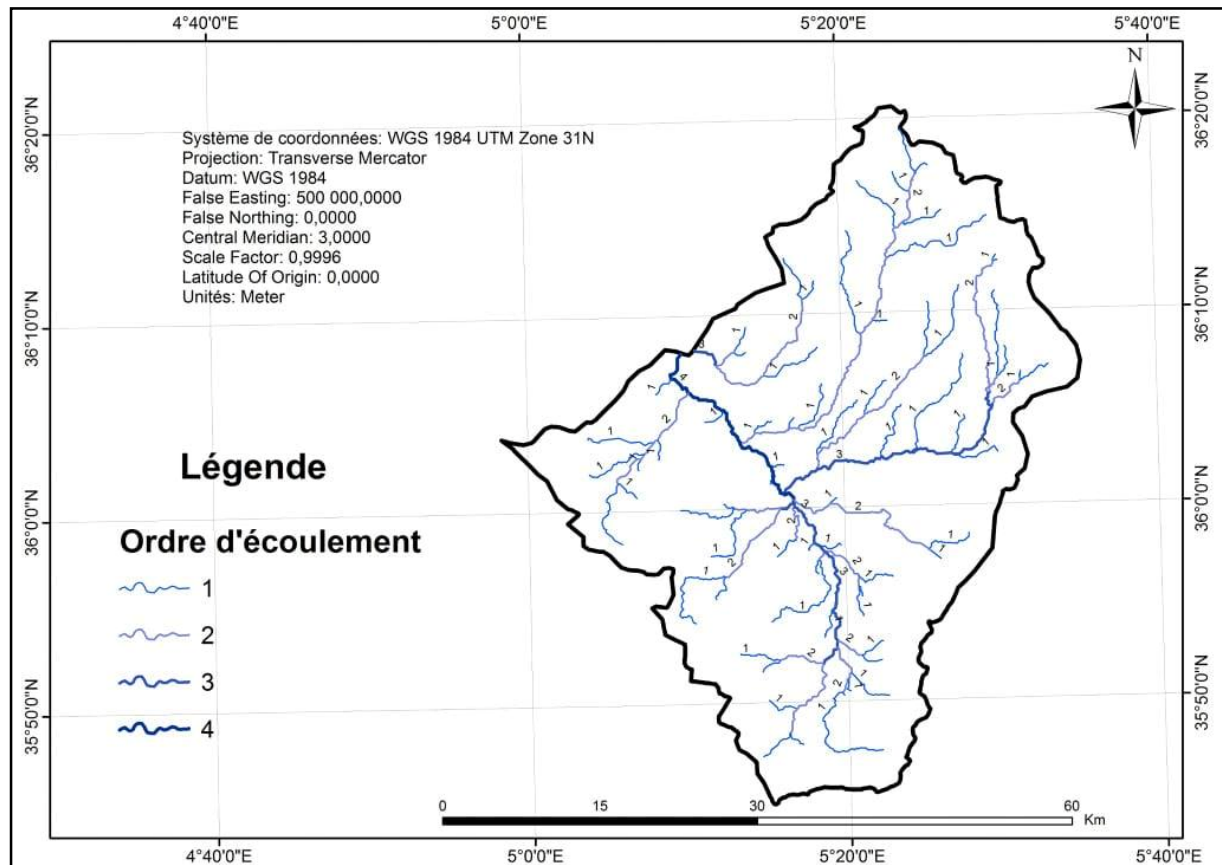


Figure IV.2 : Carte des réseaux hydrographique du sous bassin versant de BOUSELLAM AMONT (Réaliser par nos soins sous Arc GIS 10.3)

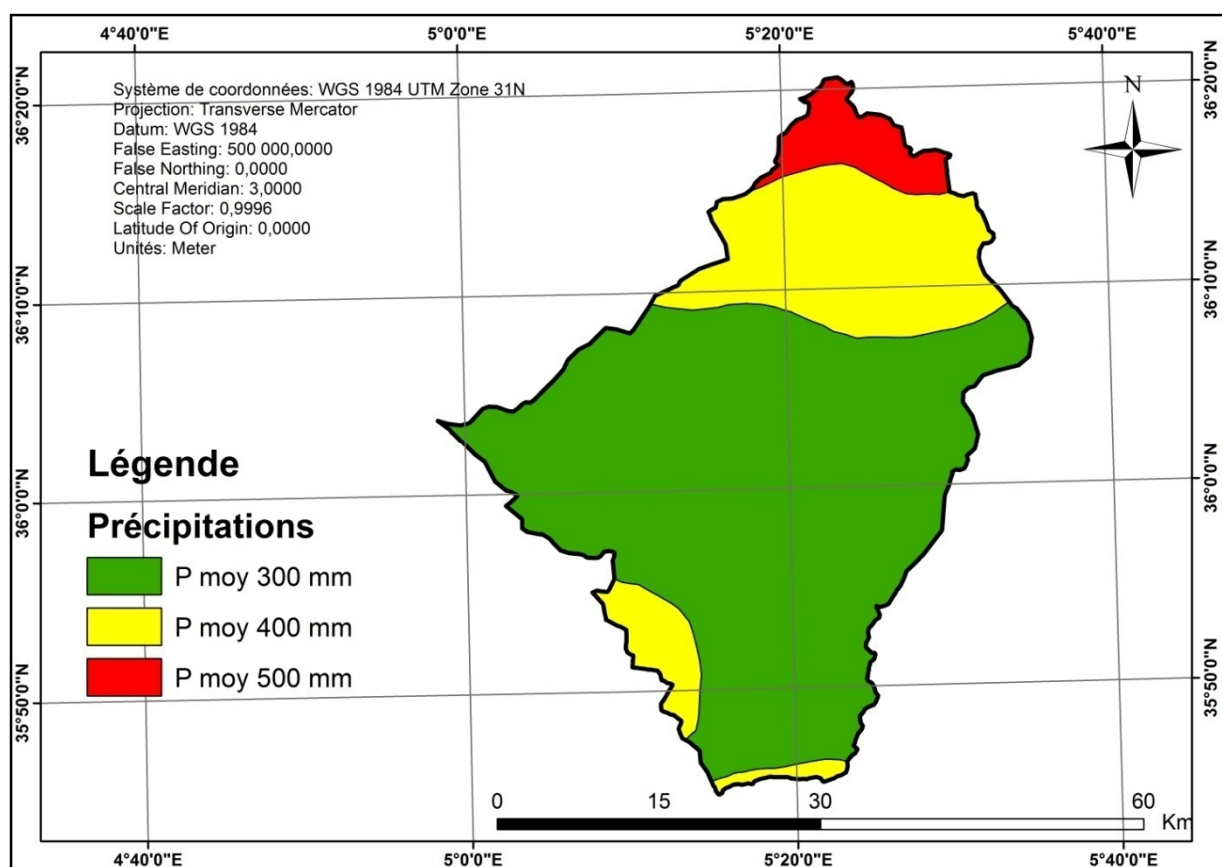
IV.6 .3 Les précipitations :

L'étude des caractéristiques climatiques d'un bassin versant est nécessaire pour la connaissance du comportement hydrologique de ses cours d'eau. En effet l'abondance, la durée et les variations des quantités de pluies qui tombent au cours des périodes de l'année pendant lesquelles les sols ne sont pas protégés par la végétation ont une incidence dramatique sur le milieu physique et peuvent provoquer une action érosive.

Il s'agit de l'intensité, du volume, de la fréquence des pluies et de leur répartition au cours de l'année. Ces caractères conditionnent notamment l'importance du couvert végétal qui s'oppose au ruissellement en absorbant l'eau. L'eau ruisselle lorsque la vitesse d'arrivée de l'eau sur le sol est supérieure à la vitesse d'infiltration. Le volume d'eau en excès à la surface dépend de l'intensité (hauteur d'eau par rapport à une durée) de la pluie et du volume total précipité.

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

Dans notre étude on n'a pas pu prendre en considération l'intensité et la fréquence des pluies à cause de manque de données pluviométriques. Dans notre bassin versant de 1776 km², il existe une seule station pluviométrique et ces données sont incomplètes, pour cela, nous avons utilisé la carte des pluies moyennes annuelles du Nord de l'Algérie réalisée au niveau de l'ANRH à l'échelle : 1/500000 et élaboré sur la base des séries d'observation pluviométriques de la période septembre 1965 à aout 2002 afin de caractériser la pluie dans notre région d'étude. La figure III.4 représente la carte pluviométrique du bassin de l'oued BOUSELLAM Amont



Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

Interprétation :

Dans le sous bassin versant l'oued BOUSELLAM AMONT on dispose de précipitations annuelles qui varient de 300 mm à 500 mm.

Les pluies entre 300 et 400 mm se trouve en amont et aussi dans une partie de la zone sud Est du sous bassin, Les pluies entre 400 et 500 mm sont concentré au Sud et Sud Est du sous bassin versant.

IV.6 .4Carte lithologique

La lithologie joue un rôle important sur le ruissellement, l'infiltration, l'érosion et le transport solide. Les matériaux géologiques se distinguent en formations meubles (sables, argiles, marnes) ou en formations consolidées (grés, calcaires, dolomies...). La carte lithologique a été obtenue par la digitalisation des différentes formations géologiques à partir d'un fond géologique, et géo référencé dans le système des coordonnées WGS 84, UTM 31 N. Dans le cadre de ce travail on a réalisé une carte litho-stratigraphique du sous bassin versant l'oued BOUSELLAM AMONT représenté dans la figure III.3 à partir d'une carte litho-stratigraphique du nord Algérie avec échelle : 1/500000 qu'on a récupéré au niveau de l'agence nationale des ressource hydraulique (ANRH).

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

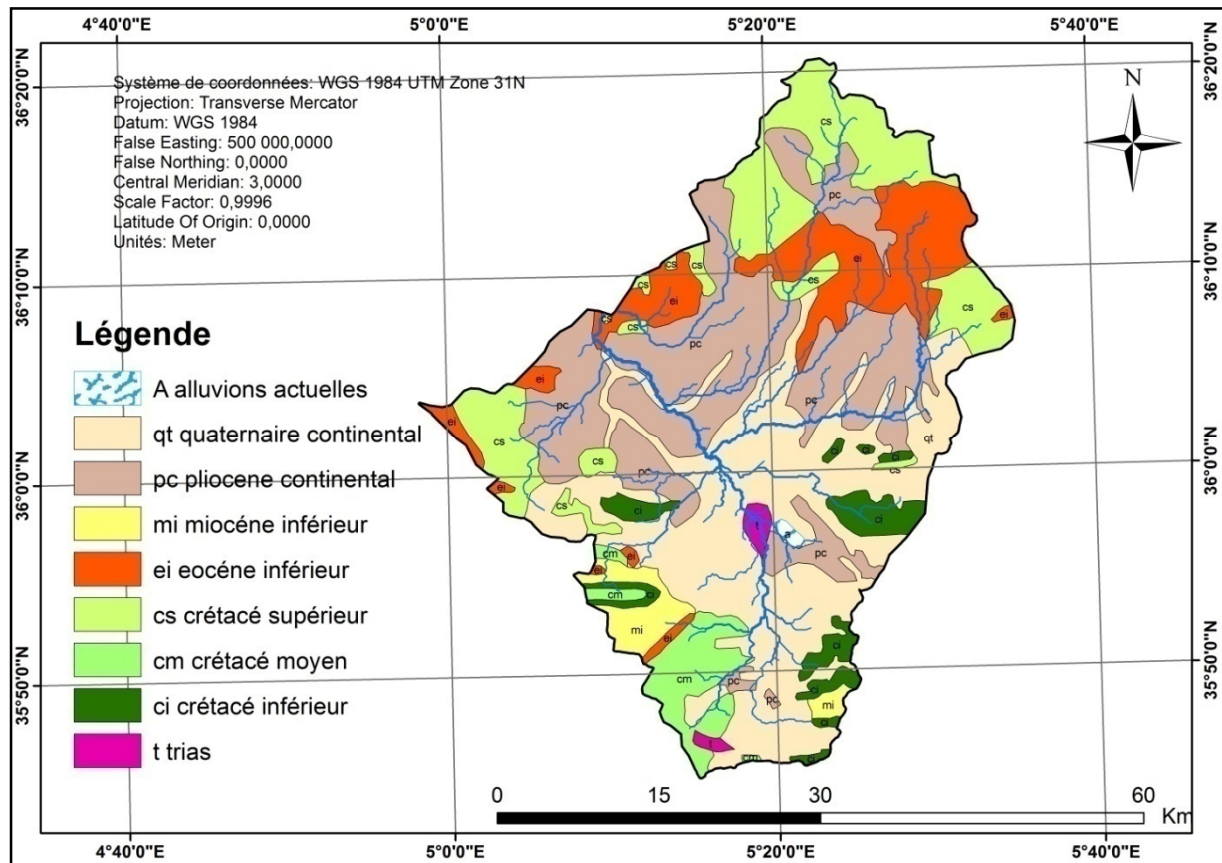


Figure IV.4 : Carte litho-stratigraphique du sous bassin versant de BOUSELLAM AMONT (Réaliser par nos soins sous Arc GIS)

IV.6 .5 L'occupation du sol :

Le processus d'érosion est étroitement lié au mode d'occupation du sol, qui contribue largement à son aggravation ou à son atténuation. L'occupation du sol détermine le degré de protection des sols. L'influence du couvert végétal sur l'érosion linéaire est ainsi très importante. Son action est d'autant plus efficace qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, recouvre une forte proportion du sol et ralentit l'écoulement du ruissellement ou encore maintient une bonne porosité à la surface du sol.

D'une part, la couverture végétale protège contre le phénomène de battance des pluies et prolonge alors la perméabilité des sols et réduit le volume ruisselé. D'autre part, une grande quantité de l'énergie du ruissellement est absorbée par la litière qui entretient la mésofaune (influençant la vitesse d'infiltration).

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

Enfin, l'état de la couverture végétale influence directement la rugosité du sol. Celle-ci dépend notamment du nombre de tiges par mètre carré. Un couvert végétal composé d'herbacées à tiges nombreuses aura une action protectrice du sol plus efficace contre le ruissellement que des arbres (Roose et Sarrailh, 1990).

Dans le cadre de ce travail on a réalisé une carte d'occupation du sol du sous bassin versant l'oued BOUSELLAM AMONT représenté dans la figure III.5.

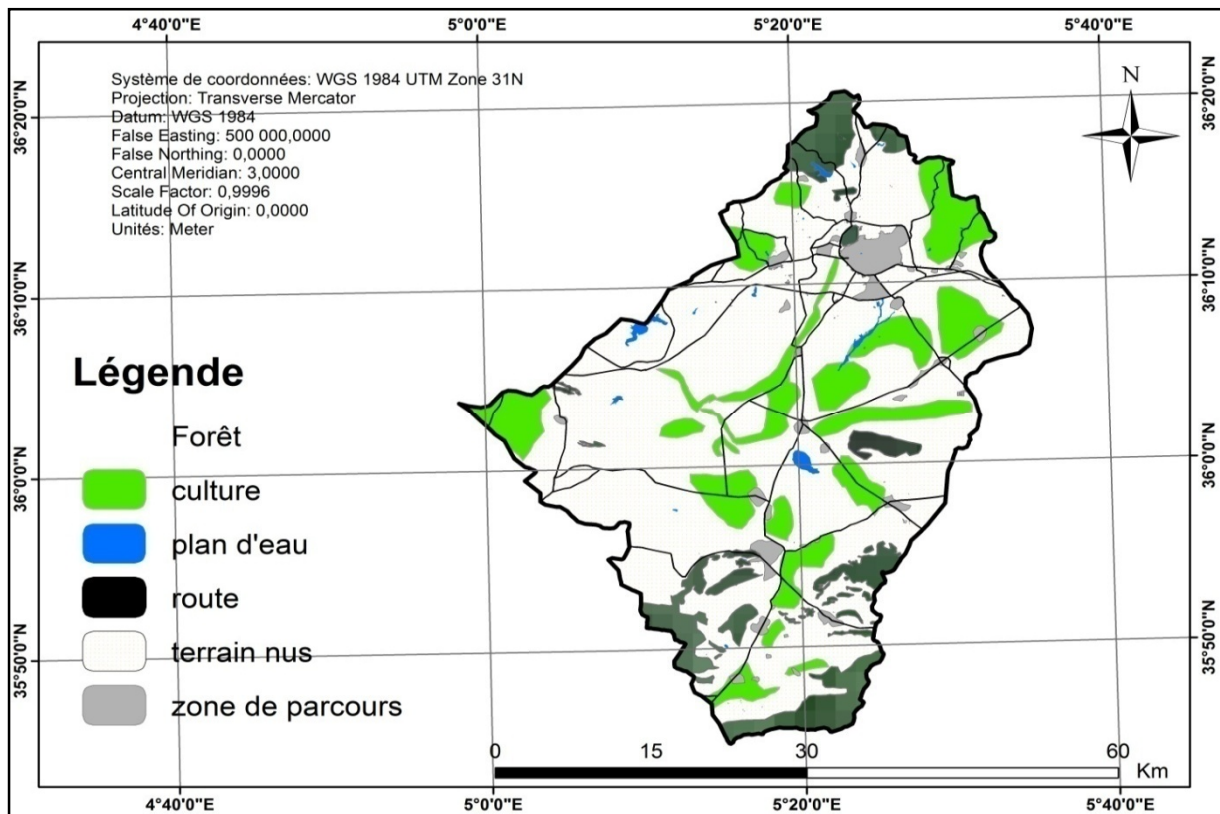


Figure IV.5: Carte d'occupation du sol du sous bassin versant de BOUSELLAM AMONT (Réaliser par nos soins sous Arc GIS)

Chapitre IV cartographie des principaux facteurs de l'érosion hydrique

IV.7 Conclusion :

Dans ce chapitre on a réalisé des cartes du sous bassin de l'oued BOUSELLAM pour les différents facteurs qui influencent l'érosion hydrique, à savoir les pentes, la lithostratigraphie, les précipitations et l'occupation du sol. Tout cela nous a permis de connaître la répartition de chaque facteur sur le sous bassin et ainsi connaître la vulnérabilité à l'érosion hydrique par rapport à chaque facteur individuellement. Les éléments présentés dans ce chapitre représentent une première étape de la réalisation d'une carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique.

Chapitre V

*approche cartographique de
l'érosion hydrique*

V.1 Introduction :

Dans le cadre de l'élaboration de cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique , nous nous sommes appuyés sur les preuves des cartes produites dans le chapitre précédent, car le choix de la méthodologie de travail appropriée dépend de la diversité des conditions environnementales, de la superficie de la zone, de la raideur des pentes, et tout cela afin de déterminer les priorités des différentes régions des sous-bassins versants, et enfin en produisant une carte synthétique de répartition des degrés de sensibilité à l'érosion.

V.2 Approche méthodologique :

L'avantage de notre approche repose sur le fait que les données numériques par l'utilisation de systèmes d'information géographique (SIG) ,permettant de spatialiser et caractériser le degré de sensibilité des sols à l'érosion sur l'ensemble de la zone d'étude.

- La première étape consiste à collecter les facteurs les plus courants impliqués dans les phénomènes d'érosion mentionnés dans le chapitre précédent, la topographie, "inclinaison de la pente" ,et également décrire l'occupation décrite par le couvert végétal et le climat décrit dans les précipitations annuelles moyennes.et aussi la nature de substrat , représentée par la géologie des formations superficielle.
- La deuxième étape consiste à intégrer les données précédemment mentionnées sous forme de couches d'informations dans un SIG. Ces couches sont ensuite reclassées qualitativement sous forme d'un indicateur de sensibilité en fonction de leur contribution au phénomène d'érosion. Les nouveaux plans d'informations sont par la suite hiérarchisés puis combinés par le biais d'une analyse multicritère qualitative. Cette base de données spatialisée est pilotée par le logiciel Arc gis 10.3.
- Enfin, nous collectons les résultats des critères précédents. Extrayons les zones potentielles d'érosion du sol, en fonction du niveau de sensibilité.

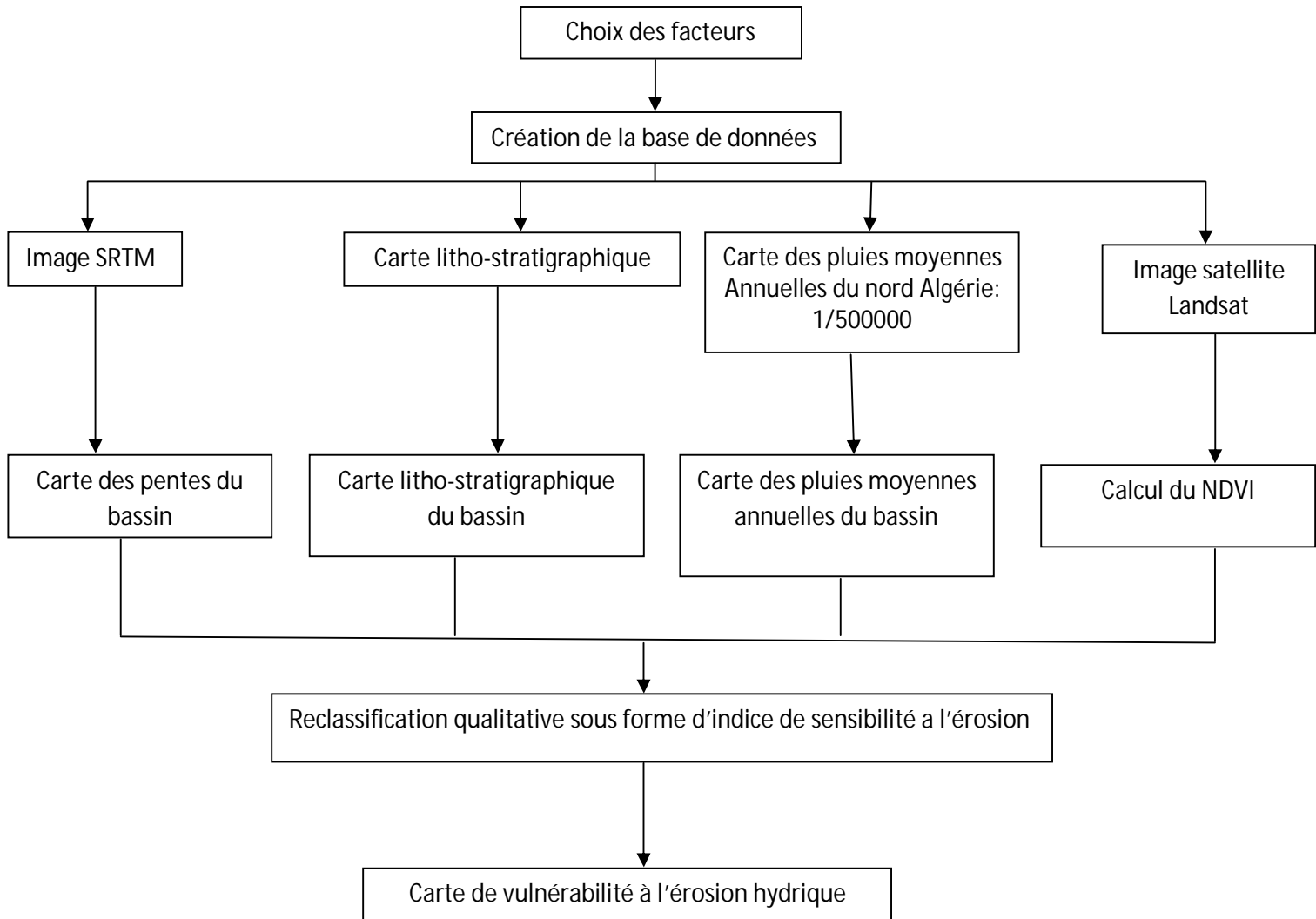


Figure V.1 : Méthodologie de la cartographie de sensibilité des sols a l'érosion hydrique

V.3 La pondération des facteurs :

Dans cette étape nous allons analyser plus précisément les traitements effectués pour chacun des facteurs retenus. La pondération est effectuée selon l'approche de ROOSE 1977 qui consiste à attribuer à chaque facteur un indice allant de 1 à 4 selon le degré de sensibilité à l'érosion hydrique.

V.3.1 Les pentes :

Pour chaque classe de pente est assigné un indice variant entre 1 et 4, 1 étant affecté aux pentes faibles (< 5°) et 4 aux pentes très fortes (>35°). Les classes des pentes existante dans notre bassin et leurs degrés de sensibilité sont représenté dans le **tableau IV.1**

thème	classe	Pondération qualitative	Pondération quantitative
Pente	>35	T .fort	4
	15_31	fort	3
	5_15	Moyen	2
	< 5	Faible	1

Tableau V.2 :Classes des pentes et indices attribués selon Roose, 1977

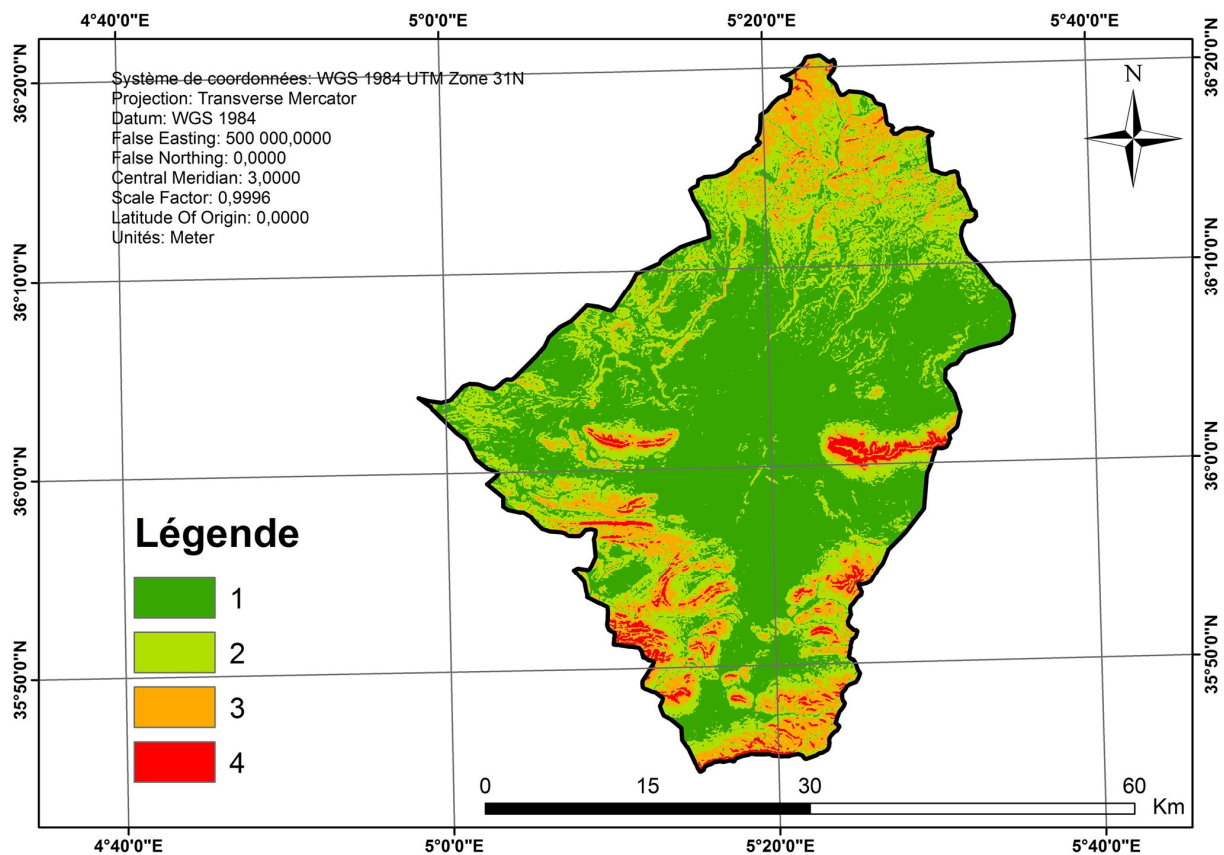


Figure V.1 Carte de pente

Interprétation :

On note sur la carte que la plupart des régions sont caractérisées par une faible sensibilité à l'érosion hydrique par contre les quelques parties de le Nord-est et aussi quelques petites zones dispersées dans le sud-est et le sud-ouest, Il se caractérise par une sensibilité élevée ou très élevée.

V.3.2 L'occupation du sol :

Plusieurs classes de couverture végétale apparaissent dans notre zone d'étude. À chaque classe, Les déférentes classes existantes et leurs degrés de sensibilité sont représentés dans le **tableau IV.2**.

Thème	classe	Pondération qualitative	Pondération quantitative
Occupation de sol	Terrain nus	T .fort	4
	eau	fort	3
	Culture	Moyen	2
	Végétation	Faible	1
	Zone de parcours	Faible	1

Tableau V.3: Classes de sensibilité du couvert végétal à l'érosion

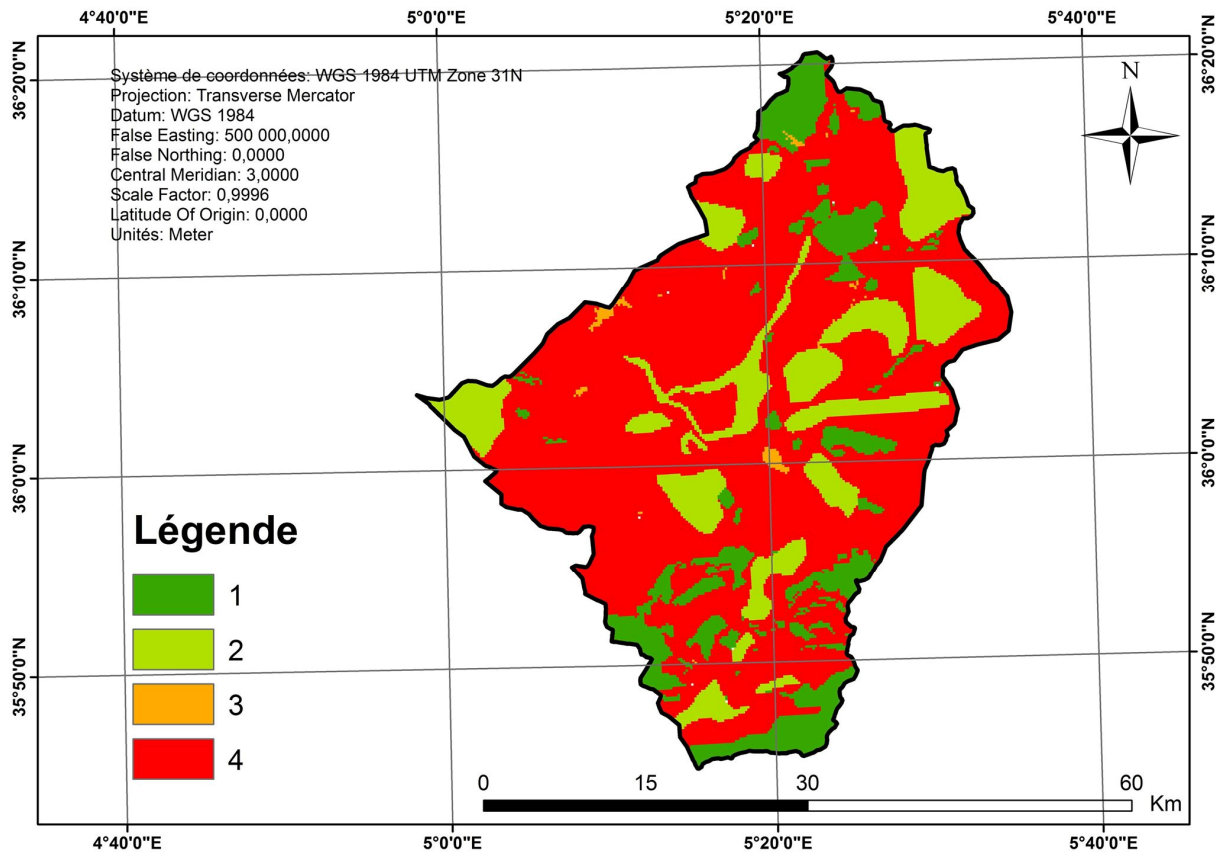


Figure V. 2 Carte de L'occupation du sol (Arc GIS 10).

Interprétation :

On distingue dans **Figure IV. 2** Les zones les plus sensibles à l'érosion hydrique sont concentrés dans les parties qui ne sont pas protégées par le couvert végétal.

V.3.3 Les Précipitations :

Les précipitations annuelles moyennes dépassants les 1700 mm favorisent une très forte érosion. Comme les pluies moyennes annuelles inférieures à 450 mm peuvent être moins favorisant de l'érosion. SMITH D.D. (1978). Donc dans notre cas on peut distinguer deux classes de pluies représenté dans le **tableau IV.3**

Thème	classe	Pondération qualitative	Pondération quantitative
Précipitations	>500	Moyen	2
	<500	Faible	1

Tableau V.4: classes des pluies favorisantes à l'érosion

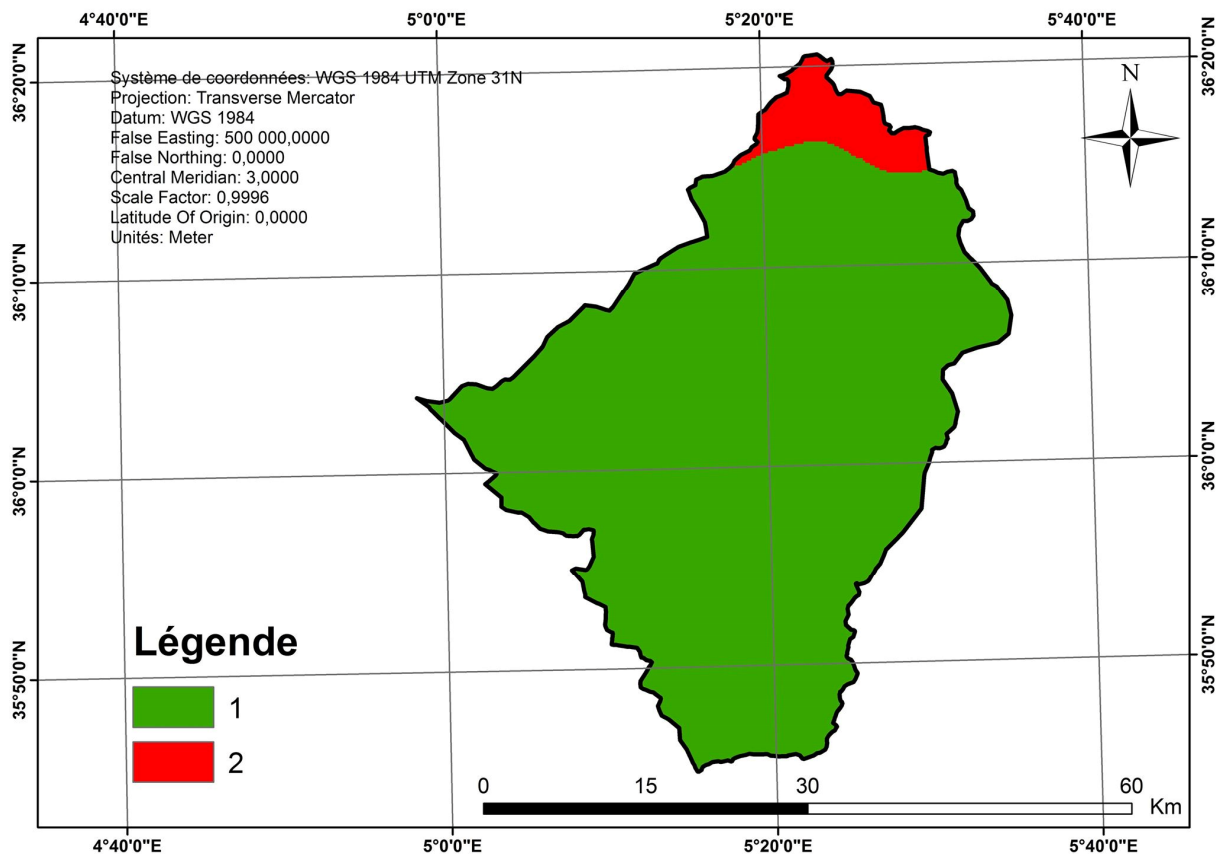


Figure V. 3 Carte de précipitation

Interprétation :

On remarque dans la **figure V. 3** que la plupart des régions n'étaient pas exposées à sensibilité à l'érosion hydrique , parce que le nord connaît plus de précipitations, contrairement au sud ,qui une rareté des niveaux d'eau en raison des température élevée .

V.3.4 La litho-stratigraphie :

Les classes de sensibilité des sols pour chaque type de sol sont attribuées à partir des caractéristiques des sols, et de leur sensibilité à la fissuration s'appuyant sur les valeurs de références établies par (**Maurizot et Delfau, 1995**).

La classification de sensibilité comprend, quatre classes ou on a attribué l'indice 1 aux classes de faible sensibilité et 4 aux calasses de très forte sensibilité à l'érosion hydrique comme suit :

- 4 : très fortement sensible : les formations volcano-sédimentaires du substrat, les formations ultrabasiques, les formations récentes, alluviales et littorales.
 - 3 : fortement sensible :Cailloutis, tufs, schistes, travertins.
 - 2 : moyennement sensible : rhyolites, basaltes, flysch, siltites, arénites dolomie cristalline
 - 1 : faiblement sensible : Marnes, grès, Argile et conglomérat.
- Les différentes classes de sensibilité à l'érosion hydrique existante dans notre zone d'étude sont représentées dans le **tableau IV.4**

thème	Classe	Pondération qualitative	Pondération quantitative
Géologie	A alluvions actuelles	4	T . fort
	qt quaternaire continental	4	T .fort
	Pc pliocène continental	3	Fort
	mi miocène inférieur	2	moyen
	ei éocène inférieur	2	moyen
	Cs crétacé supérieur	3	Fort
	Cm crétacé moyen	1	Faible
	Ci crétacé inférieur	1	faible
	T trias	3	Fort

Tableau V.5 : Classement des sols en fonction de différentes caractéristiques

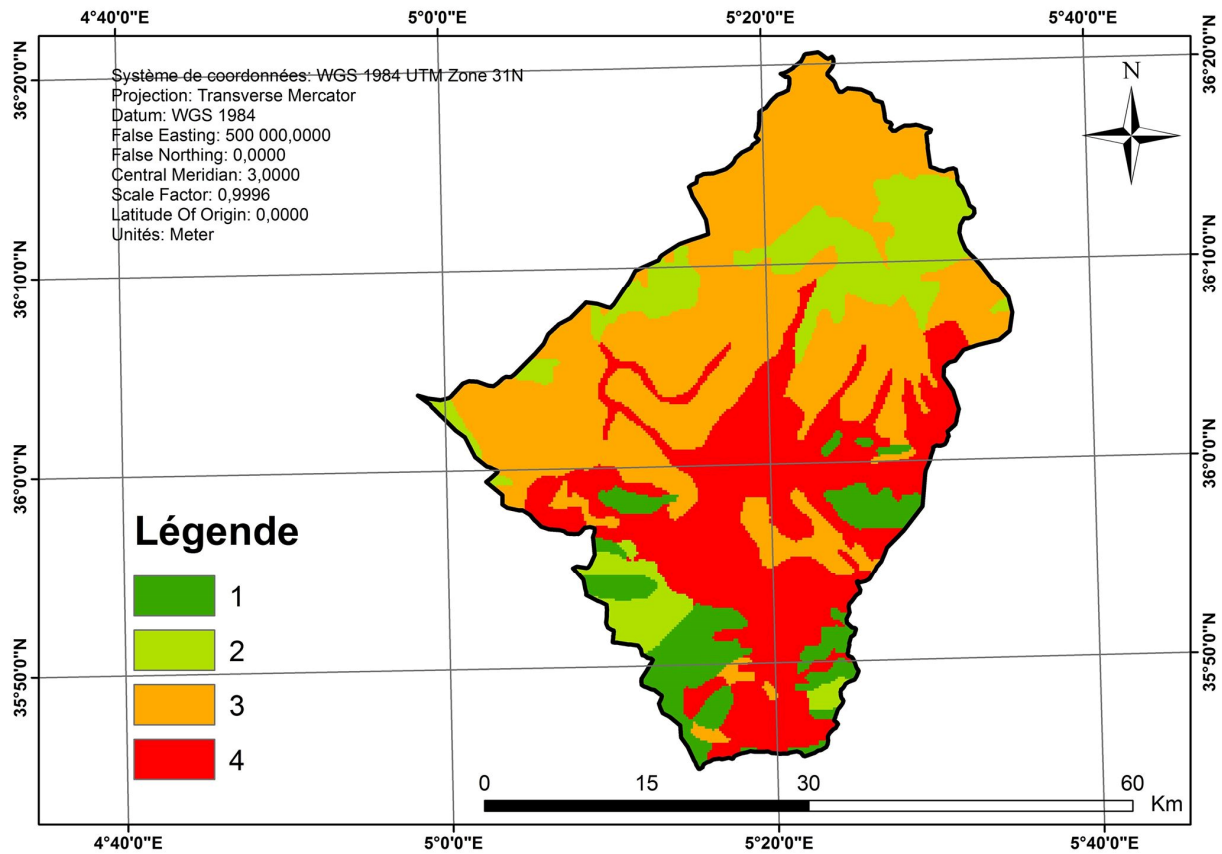


Figure V.4 : Carte de géologie

Interprétation :

Les zones les plus sensibles à l'érosion hydrique sont réparties comme le montre à la figure V.5 dans les formations affleurent sont les calcaire marneuse ,et aussi les formations poudingue, et finalement les argiles.

et les zones à faible sensibilité à l'érosion hydrique couvrent les partie du formation généralement des calcaires et les calcaire a silex et aussi les marnes.

V.3.5 Réseau hydrographique :

thème	Classe	Pondération qualitative	Pondération quantitative
Réseau Hydrographique	< 25	T . fort	4
	25_50	fort	3
	50_200	Moyen	2
	> 200	Faible	1

Tableau V.6: classification des réseau hydrographique

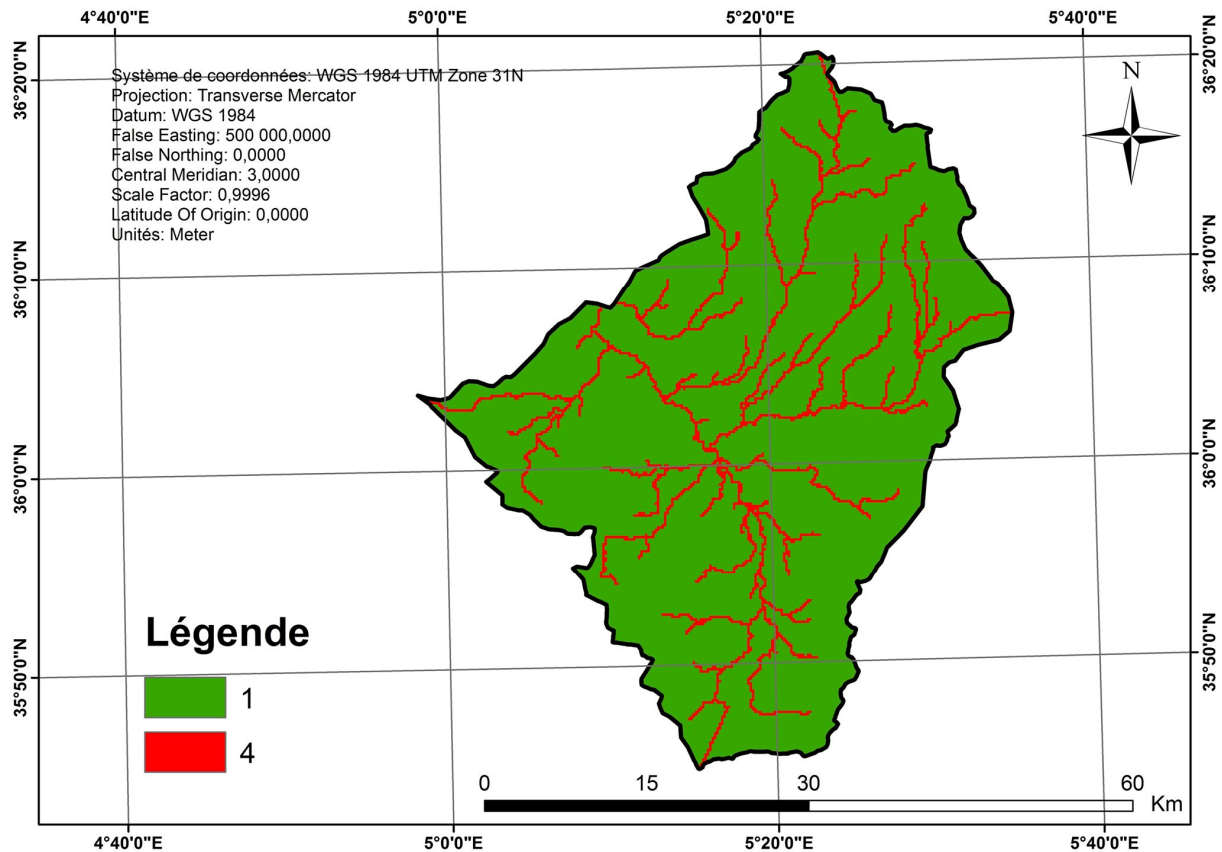


Figure V.5 : Carte de Réseau hydrographique (Arc gis 10.3)

Interprétation :

Le plus grand effet de l'écoulement dans les vallées est proche, ou est presque très limité, et l'effet ne s'étend pas aux zones environnantes. Pour cela, nous remarquons dans la **Figure IV.6** que la sensibilité à l'érosion hydrique se concentre uniquement sur les vallées.

V.4 Combinaison des facteurs :

Il s'agit maintenant d'intégrer les résultats des analyses dans un modèle général de sensibilité des sols à l'érosion et de formaliser une typologie de cette sensibilité. Le croisement des données prises en compte dans le processus érosif repose sur une combinaison dans le modèle maillé, chaque couche d'information est représentée par une image dans laquelle la valeur de chaque maille est égale à un niveau de sensibilité à l'érosion du thème considéré. L'ensemble de ces images constitue un espace multi-varié. Chacun de ces niveaux est codifié ainsi que nous l'avons décrit précédemment (faible, moyen, fort, très fort pour la déclivité et la géologie des formations superficielles, et peu protectrice, protectrice, très protectrice pour le thème occupation du sol).

L'analyse multicritère repose donc sur des paramètres qualitatifs. L'ensemble des traitements est réalisé à partir du logiciel Arc gis qui permet le croisement des données et on peut identifier des combinaisons des facteurs(Chevalier et al, 2001)

Après avoir fusionné ces données obtenues à partir des informations mentionnées précédemment dans le programme d'information géographique,(Arc gis) nous obtenons la carte suivante :

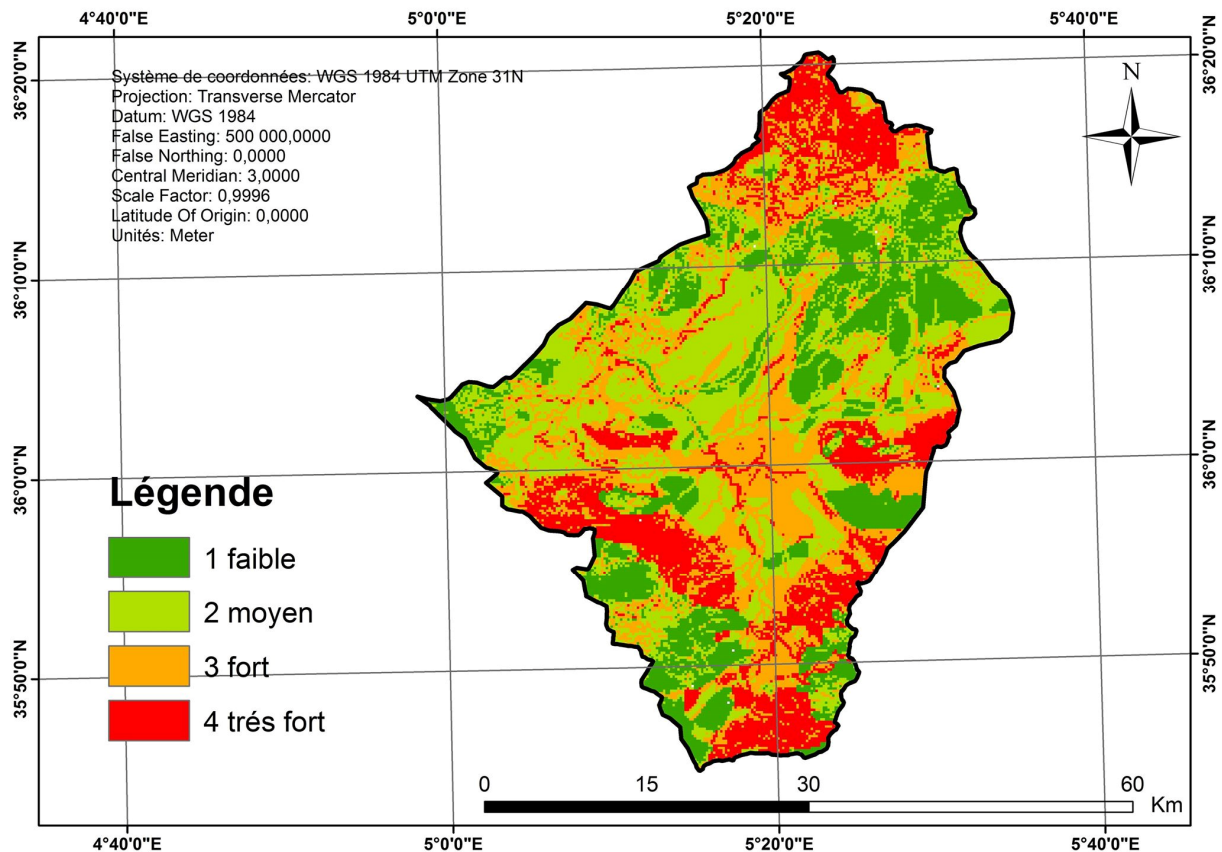


Figure V.6 : Carte de vulnérabilités multifactorielles a l'érosion hydrique du bassin de l'oued BOUSELLAM AMOANT

(BV 15 SBV 06) (réaliser par nos soins sous Arc gis 10.3)

V.5 Interprétation générale du résultat :

La figure **Figure IV.1** et le résultat de la combinaison multicritère, apport une spatialisation de l'érosion potentielle des sols. hiérarchisée selon un niveau de sensibilité , alors maintenant nous pouvons ainsi distinguer les zones les plus les affectées par le processus érosif et celles les plus préserver.

- Les zones à forte et très forte sensibilité à l'érosion hydrique couvrent 47,17% du bassin versant, et se concentrent principalement en le nord-ouest et le sud, la plupart du temps, la formation du sol dans cette région est le calcaire de crétacé supérieur qui sont généralement le plus sensible à l'érosion
- Les zones à faible sensibilité à l'érosion hydrique couvrent 52,87 % du bassin versant et se concentrent dans les zones à faible ou moyenne inclinaison de pentes et un couvert végétal très protecteur

V.6 conclusion :

la cartographie des zones à l'érosion hydrique du bassin de l'oued **BOUSELLAM AMOANT**. A permis de distinguer quatre classes de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique, C'est comme suit ;

- ✓ Les zones à faible vulnérabilité couvrent 21.49 % du secteur d'étude
- ✓ les zones à moyenne vulnérabilité 31.38%
- ✓ les zones à forte vulnérabilité 27.08 %
- ✓ et celles à très forte vulnérabilité couvrent 20.09 % du bassin versant.

V.7 Recommandations :

- le boisement afin de réduire le phénomène de l'érosion hydrique
- La manière la plus efficace de lutter contre l'érosion hydrique des sols est de favoriser le phénomène d'infiltration pour limiter le ruissellement (Construction de barrages pour stocker l'eau)

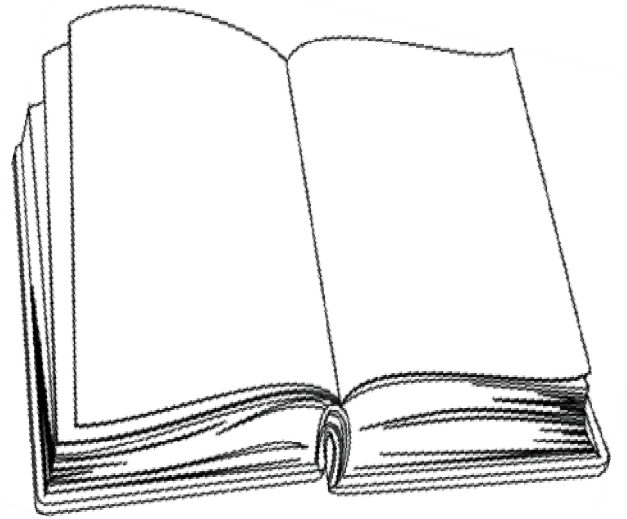
V.6 conclusion :

la cartographie des zones à l'érosion hydrique du bassin de l'oued **BOUSELLAM AMOANT** . A permis de distinguer quatre classes de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique , C'est comme suit ;

- ✓ Les zones à faible vulnérabilité couvrent 21.49 % du secteur d'étude
- ✓ les zones à moyenne vulnérabilité 31.38%
- ✓ les zones à forte vulnérabilité 27.08 %
- ✓ et celles à très forte vulnérabilité couvrent 20.09 % du bassin versant.

V.7 Recommandations :

- le boisement afin de réduire le phénomène de l'érosion hydrique
- La manière la plus efficace de lutter contre l'érosion hydrique des sols est de favoriser le phénomène d'infiltration pour limiter le ruissellement(Construction de barrages pour stocker l'eau)



Conclusion générale

Conclusion générale

La présente étude pose la problématique de l'érosion des sols dans le bassin versant de l'oued **BOUSELLAM AMOANT** et fournit un document de base qui constitue une base de données multi sources de la région, à l'aide du système d'information géographique (SIG), qui est un outil essentiel pour la spatialisation de l'information ainsi que pour la mise à jour des données.

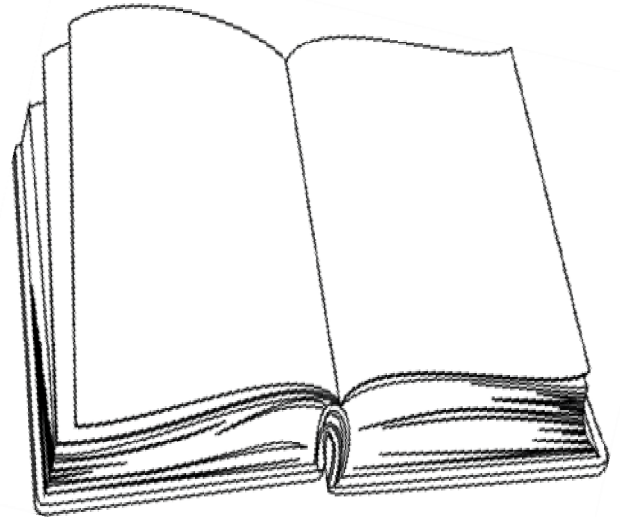
Les éléments contenus dans les inventaires topographiques, les inventaires géologiques et d'occupation des terres ont été croisés dans un SIG. L'analyse et la modélisation spatiale de la friabilité du substratum lithologique, du couvert végétal, la répartition des pluies moyennes annuelles et le degré d'inclinaison des pentes ont permis d'avoir une idée claire sur la gestion du bassin versant de l'oued **BOUSELLAM AMOANT**.

La carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique, créée pour obtenir des résultats plus précis sur la répartition spatiale de l'érosion du bassin versant de l'oued **BOUSELLAM AMOANT**. Elle nous fournira de nombreuses informations en termes d'intensité des précipitations et de répartition spatiale, ce qui est particulièrement intéressant.

Comme l'inventaire des mesures de lutte contre l'érosion des sols réalisé dans différents pays montre qu'il existe un large éventail de mesures, adaptées à chaque situation. Pour lutter contre les conséquences négatives de ce phénomène. Les actions, souvent dues à des initiatives individuelles, doivent passer par des actions coordonnées à travers une gamme de bassins versants ou de petites zones agricoles qui retiennent ou infiltrent des bassins, des tranchées, des voies réservées aux bus et des zones de reboisement sont les principaux moyens dans les zones à haut risque d'érosion hydrique.

La cartographie de la zone à l'érosion hydrique a permis de distinguer quatre classes de vulnérabilité multifactorielle dans le bassin versant de l'oued **BOUSELLAM AMOANT** :

- 1) Les zones à faible vulnérabilité 21,49%
- 2) les zones à moyenne vulnérabilité 31,38%
- 3) les zones à forte vulnérabilité 27,08%
- 4) Les zones à très forte vulnérabilité 20,09%



*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

A

Achite, M., Touaibia, B., et Ouillon, S. (2014). Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences et Perspectives. Production scientifique-Communications, 1.

Ake, G.E., Kouadio, B.H., Adja, M.G., Ettien, J.B., Effebi, K.R., Biémi J. (2012). Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud- Est de la Côte d'Ivoire).

B

Bouchetata, A. (2001). Cartographie des risques d'érosion hydrique des sols par l'utilisation du SIG « cas du sous-bassin-versant de l'oued Fergoug ». Thèse de Magister, Centre universitaire de Mascara.

BOUSSEMA. (1996). Système d'information pour la conservation et la gestion des ressources naturelles ; Colloque International sur le rôle des technologies de télécommunication et de l'information en matière de protection de l'environnement, Tunis, 12 Novembre 1996.

C

Celik, I., Aydine, M., Yazici, U. (1996). A review of the erosion control studies during the republic in Turkey. In Kapur, S., Akça, E., Eswaran, H., Kelling, G., Vita-Finzi, Mermut A6R, Ocal A-D, editor 1st international conference on land degradation, Adan. Turkey. 10-14 June 1996, 175-18

Chebbani, R., Djelil, K., Rosse, E. (1999). Etude des risques d'érosion dans le bassin versant Isser, Algérie. Bulletin Réseau Erosion 19 : 85-95.

Chevalier, J. J., Pouliot, J., Thomson, K., Boussema, M. R. (1995). Système d'aide à la planification pour la conservation des eaux et des sols (Tunisie). Système d'information géographique utilisant les données de télédétection. Act du colloque scientifique international, Hammamet. Tunisie, 1-2 Novembre 1994, 4-12

D

Références bibliographiques

Dutil, P. (1984). L'érosion en grande culture, revue technique des agriculteurs dynamique, N°169, France.

G

Greco, J. (1966). L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. MARA. Alger.

M

Mazour, M., Morsli, B., Mededjel, N. et Roose, E. (2004). Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du nordouest de l'Algérie.

Merdas, S., Mostephaoui, T., Sakaa, B., Hanafi, M. T., Benazzouz, M.T. (2013). Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin-versant d'el Hamel (Boussaâda) Algérie.

N

Nafo, I. I. (2000). Conservation des sols avec l'aide du SIG et de la télédétection. Exemple d'utilisation d'un SIG et de la Télédétection pour l'estimation des pertes en terre dans un petit bassin à l'Ouest du Mali.

N'dri, B.E., N'go, Y.A., Kadio, H.N., Ouattara, A., Touré, B., Biémi J. (2008). Effect of soilslope and cover on runoff and rate soillossfromexperimental plots in area of Attécoubé. European Journal of Scientific Research.

R

Remini, B., Benkhaled, A. (2003). Analysis of a sediment rating curve in Wahrane river basin (Algéria). Revue des sciences de l'Eau N°16/3. Pp 333-356.

Remini, B., Benkhaled, A. (2003). Influence des paramètres hydrométéorologiques sur l'estimation des apports solides dans un bassin versant de zone semi-aride. L'oued Ouahrane. Colloque International Oasis, Eau et Population. Biskra.22-23 et 24 Septembre.

Références bibliographiques

Remini, B., Benkhaled, A. (2003). Temporal variability of sediment concentration and hysteresis in the Wadi Wahrane basin. Algéria. Hydrological Science Journal. N° 48 (2). Pp 243-255.

Roose (1967). Dix années de mesures de l'érosion et du ruissellement au Sénégal. Agronomie tropicale (France), volume 22, n°2, p 123-152

Roose (1994). Introduction à la GCES. Bulletin pédologique FAO.76,420p

Roose, E (1977). Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest : vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales. Travaux et Documents, n° 78. Paris : Orstom éditions.

Roose, E (1996). Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne

Roose. Piot. (1984). Runoff erosion and soil fertility restoration on the mossi plateau (central zone of upper- volta). Symp. Intern challenge in African Hydrology and water resource. Harare Symposium I.A.N.S publ, 144, p 485-498.

S

Shabban, A., Khawalif, M. (1998). Coenvironmental assessment of riparian zones under extreme climatic events; a case study of representative rivers in Lebanon. Mediterranean rivers and riparian zones- processes and management symposium, Zaragoza, Spain, 21 September- 2 October, 1998, 25p. A hnlichkeitsmechanik und turbulenzforschung. Mitteilpreuss, versuchantwasser und schiffsbou, Berlin n°26, Allemagne.

W

Wischmeier (1978). Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning. Agriculture Hand- Book. N°537. USA