

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة سعيدة - د. الطاهر مولاي -

UNIVERSITÉ DE SAÏDA – Dr MOULAY TAHAR
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil et d'Hydraulique



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **Diplôme de MASTER en Hydraulique**

Spécialité : Hydraulique Urbaine

Par : DJOUADI Abdelkader Boudjelal

NOUAOURIA Mohamed el Amine

UTILISATION DE L'ANALYSE HYPOMETRIQUE POUR LA DETERMINATION DU STADE DE L'EROSION HYDRIQUE DANS CERTAINS BASSINS DU NORD ALGERIEN

Soutenu, le / 09 / 2020, devant le jury composé de :

M. HADJEM M.

Examineur 1

M^{me} HENDI A.

Examineur 2

M. MEDJEBER A.

Encadreur

Saida 2020

REMERCIEMENTS

Avant tout, nous remercions Dieu qui nous facilite le chemin pour achever nos études et notre modeste travail.

Nous adressons nos remerciements aux personnes qui nous ont aidés dans la réalisation de ce mémoire. En préambule, on adresse tous nos remerciements aux personnes avec lesquelles on a pu échanger et qui nous ont aidés pour la rédaction de ce mémoire.

Plus particulièrement, nous tenons à remercier :

- ❖ Notre encadreur Mr MEDJBER Abdellah de nous avoir aidé et orienté par ses conseils judicieux dans le but de mener à bien ce travail.
- ❖ Nous remercions l'ensemble du corps enseignant et le personnel du département hydraulique qui ont contribué de près ou de loin à notre formation.
- ❖ Nous remercions aussi les membres du jury, pour avoir accepté d'évaluer et à l'intérêt qu'ils ont portés à ce mémoire.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mes parents ;*
- ✓ *Mon frère Mohamed Abdelhai ;*
- ✓ *Mes sœurs ;*
- ✓ *A toute la famille DJOUADI et KERMANI ;*
- ✓ *A mon amie Amine*
- ✓ *A toute la promotion de
l'HYDRAULIQUE URBAINE
2019/2020.*

DJOUADI Abdelkader Boudjelal

Je dédie ce modeste travail à :

- ✓ *Mes parents ;*
- ✓ *Mes frères ;*
- ✓ *Mes sœurs ;*
- ✓ *A toute la famille NOUAOURIA ;*
- ✓ *A mon amie Abdelkader*
- ✓ *A toute la promotion de*
1'HYDRAULIQUE URBAINE
2019/2020.

NOUAOURIA Mohamed el Amine

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Notions et travaux antérieurs sur l'analyse hypsométrique

Figure I.1:Le concept d'analyse hypsométrique et le modèle de courbes hypsométriques	6
Figure I.2: Courbes hypsométriques au stades d'équilibre	9

Chapitre II: Présentations de la zone d'étude

Figure II. 1 : Les principaux bassins versants de l'Algérie.....	14
Figure II. 2 : Localisations des Bassins versant étudiés	15
Figure II. 3: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Tiguiquest	16
Figure II. 4: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Djidiouia	17
Figure II.5: Carte des altitudes du bassin versant d'oued El abd.....	18
Figure II.6: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Bellah.....	19
Figure II.7: Carte des altitudes du bassin versant d'oued El Harrach.....	21
Figure II.8: Carte des altitudes de bassin versant d'oued El Kantara	22
Figure II.9: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Mellah	23
Figure 10: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Taarist	24
Figure II. 11: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Maleh	26
Figure II. 12: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Kebir	27
Figure II. 13: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Melrir	28
Figure II. 14: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Taria.....	29
Figure II. 15: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Zerga	31
Figure II. 16: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Ksob.....	32
Figure II. 17: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Ressoul.....	33
Figure II. 18: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Bousselam.....	34
Figure II. 19: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Boumessaoud	36
Figure II. 20: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Chouly.....	37

Chapitre III: Caractéristiques géomorphologique des bassins versants d'étude

Figure III.1:Carte des pentes du bassin versant d'oued Tiguiquest	42
Figure III.2: Carte des pentes du bassin versant d'oued Djidiouia	43
Figure III.3: Carte des pentes du bassin versant d'oued El Abd.....	44
Figure III.4: Carte des pentes du bassin versant d'oued Bellah.....	45
Figure III.5: Carte des pentes du bassin versant d'oued El Harrach.....	46
Figure III.6: Carte des pentes du bassin versant d'oued El Kantara	47
Figure III.7: Carte des pentes du bassin versant d'oued Melah	49
Figure III.8: Carte des pentes du bassin versant d'oued Taarist	50
Figure III.9: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Maleh.....	51
Figure III.10: Carte des pentes du bassin versant d'oued Kebir	52
Figure III.11: Carte des pentes du bassin versant d'oued Melrir	53
Figure III.12: Carte des pentes du bassin versant d'oued Taria.....	54
Figure III.13: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Zerga.....	55

Figure III.14: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Ksob.....	57
Figure III.15: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Ressoul	58
Figure III.16: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Bousselam	59
Figure III.17: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Bou-messaoud	60
Figure III.18: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Chouly	61

Chapitre IV: Application de l'analyse hypsométrique et calcul des intégrales hypsométriques

Figure IV.1: Model du SRTM utilisé pour le bassin d'oued Maleh	65
Figure IV.2: La courbe hypsométrique et La courbe de fréquences altimétriques	66
Figure IV.3: Courbes hypsométriques et courbes de fréquences altimétriques des bassins versants.....	67
Figure IV.4 : L'aire sous courbe par rapport à l'aire totale	68

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Valeurs hypsométriques et leur stade géologique correspondant, formes de courbes et potentiel d'érosion	8
Tableau IV.1: Intégrales hypsométriques des 18 bassins versants et leurs stades d'érosion...	69

Résumé

L'analyse hypsométrique vise à déterminer les différents stades d'érosion auxquels sont soumis les bassins versants et leur évolution (stades géomorphiques). Les principaux facteurs qui interviennent dans le façonnement du relief des bassins versants sont l'érosion hydrique et les mouvements tectoniques.

Dans le présent travail cette méthode a été appliquée à dix huit (18) bassins versants situés dans le nord Algérien. Pour cela une étude des caractéristiques géomorphologiques des différents bassins a été effectuée, suivie d'un tracé des courbes hypsométriques et le calcul des valeurs des intégrales hypsométriques. L'analyse de la forme des courbes obtenues et aussi des valeurs des intégrales hypsométriques montre que quinze bassins versants possèdent un stade géomorphique mature et 3 bassins ont atteint le stade de vieillesse. En effet les valeurs des intégrales hypsométriques varient de 0,21 à 0,59.

Pour les bassins dont les valeurs de l'intégrale hypsométrique est élevée donc qui sont sujets à une érosion forte ; il faudrait prévoir la construction de structures de conservation des sols et de l'eau pour limiter les effets néfastes de l'érosion hydrique.

Mots clés : Erosion hydrique, Analyse hypsométrique, caractéristique géomorphologique, Stades d'érosion, Algérie .

Abstract:

The hypsometric analysis aims to determine the different stages of erosion to which the watersheds are subjected and their evolution (geomorphic stages). The main factors involved in shaping the relief of watersheds are water erosion and tectonic movements.

In the present work, this method applied to eighteen (18) watersheds located in northern part of Algeria. For this purpose , a study of the geomorphological characteristics of the different basins was carried out, followed by a plot of the hypsometric curves and the calculation of the values of the hypsometric integrals. Analysis of the shape of the curves obtained and also of the values of the hypsometric integrals shows that fifteen watersheds have a mature geomorphic stage and 3 basins have reached the old age stage. Indeed the values of the hypsometric integrals vary from 0.21 to 0.59.

For basins with high hypsometric integral values which are therefore subject to strong erosion; forecast should be made for the construction of soil and water conservation structures to limit the harmful effects of water erosion.

Keyword: Water erosion, Hypsometric analysis, Geomorphological characteristic, Erosion stages, Algeria

ملخص :

يهدف التحليل الهيسومتري إلى تحديد مراحل التعرية المختلفة التي تتعرض لها مستجمعات المياه وتطورها (المراحل الجيومورفولوجية). العوامل الرئيسية المشاركة في تشكيل تضاريس مستجمعات المياه هي التعرية المائية والحركات التكتونية.

في العمل الحالي ، تم تطبيق هذه الطريقة على ثمانية عشر 18 مستجما مائيا تقع في شمال الجزائر. لهذا الغرض ، تم إجراء دراسة للخصائص الجيومورفولوجية للأحواض المختلفة ، متبوعة برسم منحنيات الهيسومترية وحساب قيم التكاملات الهيسيمومترية. يُظهر تحليل شكل المنحنيات التي تم الحصول عليها وكذلك قيم التكاملات الهيسيمومترية أن خمسة عشر مستجمعات مائية لها مرحلة جيومورفولوجية ناضجة و 3 أحواض وصلت إلى مرحلة الشيخوخة. في الواقع ، تختلف قيم التكاملات الهيسيمومترية من 0.21 إلى 0.59.

للأحواض ذات القيم التكاملية الهيسومترية العالية والتي تكون بالتالي عرضة لتآكل شديد ؛ يجب العمل على بناء هياكل ترشيد استهلاك التربة والمياه للحد من الآثار الضارة للتعرية المائية.

الكلمات المفتاحية: التعرية المائية ، التحليل الهيسومتري ، الخصائص الجيومورفولوجية ، مراحل التعرية ، الجزائر

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE.....	2
----------------------------	---

CHAPITRE I NOTIONS ET TRAVAUX ANTERIEURS SUR L'ANALYSE

HYPSONOMETRIQUE	5
------------------------------	---

1.Introduction :	5
------------------------	---

2.La courbe hypsométrique :	5
-----------------------------------	---

3.L'intégrale hypsométrique :	7
-------------------------------------	---

4.Premières applications de la méthode	8
--	---

5.Quelques travaux de recherche d'application de l'analyse hypsométrique	9
--	---

Singh (2008)	9
---------------------	---

Sharma (2013)	10
----------------------	----

Farhan (2016)	10
----------------------	----

Angeles Martinez Ramirez (2017)	10
--	----

<u>CHAPITRE II: PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE</u>	12
--	----

1. Introduction	13
-----------------------	----

2. Description générale de la zone d'étude.....	13
---	----

3. Présentation de la zone d'étude :	14
--	----

3.1. Bassin versant d'Oued Tiguiquest.....	15
--	----

3.2. Bassin versant d'Oued Djidiouia	16
--	----

3.3. Bassin versant d'Oued El Abd.....	17
--	----

3.4. Bassin versant d'Oued Bellah.....	18
--	----

3.5. Bassin versant d'Oued El Harrach.....	20
--	----

3.6. Bassin versant d'Oued El Kantara	21
---	----

3.7. Bassin versant d'Oued melah	22
--	----

3.8. Bassin versant d'Oued Taarist	23
--	----

3.9. Bassin versant d'Oued El Malah	24
---	----

3.10. Bassin versant d'Oued el kebir	26
--	----

3.11. Bassin versant d'Oued Melrir	27
--	----

3.12. Bassin versant d'Oued Taria.....	28
--	----

3.13. Bassin versant d'Oued Zerga.....	30
--	----

3.14. Bassin versant d'Oued Ksob.....	31
3.15. Bassin versant d'Oued Ressoul	32
3.16. Bassin versant d'Oued Boussalem	33
3.17. Bassin versant d'Oued Boumessaoud :	34
3.18. Bassin versant d'Oued Chouly	36

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES

DES BASSINS VERSANTS D'ETUDE	38
1. Introduction	39
2. Quelques rappels et définitions	39
2.1. La surface du bassin versant	39
2.2. Longueur du bassin versant	39
2.3. Longueur de talweg principal :	40
2.4. Coefficient de compacité Gravelius :	40
2.5. Densité de drainage Dd :	40
2.6. Les altitudes maximale et minimale :	41
2.7. Altitude moyenne du bassin versant	41
3. Les caractéristiques géomorphologiques des bassins versants d'étude	41
3.1. Bassin versant d'Oued Tiguiquest :	41
3.2. Bassin versant d'Oued Djidiouia	42
3.3. Bassin versant d'Oued El Abd.....	43
3.4. Bassin versant d'Oued Bellah.....	44
3.5. Bassin versant d'Oued El Harrach.....	45
3.6. Bassin versant d'Oued El kantara.....	46
3.7. Bassin versant d'Oued Melah.....	48
3.8. Bassin versant d'Oued Taarist	49
3.9. Bassin versant d'Oued Maleh.....	50
3.10. Bassin versant d'Oued El kebir	51
3.11. Bassin versant d'Oued Melrir.....	52
3.12. Bassin versant d'Oued Taria.....	53
3.13. Bassin versant d'Oued Zerga.....	54
3.14. Bassin versant d'Oued Ksob.....	56
3.15. Bassin versant d'Oued Ressoul	57
3.16. Bassin versant d'Oued Bousselam	58

3.17. Bassin versant d'Oued Bou-messaoud	59
3.18. Bassin versant d'Oued Chouly	60
4.Conclusion.....	61
CHAPITRE IV: APPLICATION DE L'ANALYSE HYPSONOMETRIQUE ET CALCUL DES INTEGRALES HYPSONOMETRIQUES	62
1. Introduction	63
2.Materiel et Méthodes.....	63
3.La courbe hypsonométrique	65
4.Traçé des courbes hypsonométriques.....	66
5.Estimation des intégrales hypsonométriques	67
6.Analyse des résultats et discussion :	70
6.1 Analyse des courbes hypsonométriques	70
6.2 Analyse des intégrales hypsonométriques	71
CONCLUSION GENERALE	75
Références bibliographiques.....	76

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

L'érosion hydrique est un phénomène complexe par son caractère irrégulier, aléatoire et par sa discontinuité spatio-temporelle. En raison de son ampleur et son agressivité, elle constitue une contrainte majeure au développement de l'agriculture, à la promotion des activités rurales et à la préservation des sols. Ce phénomène, est caractéristique dans la région du Maghreb dont les potentialités en eau et en sol sont sérieusement menacées. Les quantités de sédiments transportés en suspension susceptibles de se déposer dans le littoral méditerranéen des côtes Algériennes sont estimées à 47 millions tonnes par an [21].

Ce phénomène n'est pas limité à la région du Maghreb. En effet, ailleurs dans le monde, on note aussi que des terrains fertiles sont partiellement ou totalement dégradés à cause de ce phénomène, cédant la place à des terrains squelettiques complètement appauvris. En Amérique latine, l'érosion hydrique touche 14,3 % du territoire d'Amérique du Sud et 26 % de l'Amérique centrale . En Europe, selon l'Agence européenne pour l'environnement (AEE), le problème affecte approximativement 17 % de la surface du territoire à différents degrés et s'observe localement, soit directement sous l'effet des activités humaines, soit indirectement suite aux changements climatiques [26]. En Afrique du Nord, le phénomène de l'érosion hydrique est également très répandu, la majorité des bassins versants étant caractérisée par de fortes dégradations spécifiques dépassant 2000 tonnes/km²/an, ce qui entraîne un engorgement moyen annuel des retenues des barrages à raison de 125 millions de m³ par an.[22]

L'érosion hydrique est donc un problème environnemental international qui dégrade les sols. Elle provoque une modification de leur porosité et une régression des terres fertiles, et par conséquent une réduction de leur capacité de production agricole, ce qui les rend de moins en moins capables de faire face à l'expansion démographique.

Au Maghreb, l'érosion hydrique affecte 28 % des terres de l'Algérie du Nord. Ce sont les terres à fortes pentes des massifs telliens qui sont les plus touchées. L'érosion se manifeste par la formation de rigoles et de ravines sur tout le versant avec affleurement de la roche-mère et une évolution en bad-lands .[13]

L'analyse hypsométrique vise à déterminer les différents stades d'érosion auxquels sont soumis les bassins versants (stades géomorphiques) , les principaux facteurs qui interviennent dans le façonnement du relief des bassins versants sont l'érosion hydrique et les mouvements

tectoniques . L'hypsométrie a été utilisée comme indicateur de la forme géomorphique des bassins versants et des reliefs.

L'utilisation de l'analyse hypsométrique est très importante pour l'étude du relief. Elle permet de comprendre la relation entre les paramètres hydro climatiques (précipitations, écoulement de surface) et l'altitude du bassin et de déterminer les modifications géomorphologiques d'un bassin versant pendant une durée de temps.

Connaître le stade d'érosion d'un bassin versant permet d'envisager et d'entreprendre des moyens de lutte contre l'érosion hydrique selon le degré de dégradation du bassin et prévoir son évolution dans le futur.

Depuis des dizaines d'années, l'Algérie a pris plusieurs techniques et protocoles pour affronter l'érosion hydrique, ces techniques ont commencé par l'étude et les analyses des caractéristiques géomorphologiques des bassins versants et ils ont terminé par la pratique des programmes nationaux face à l'érosion hydrique.

Dans le présent travail, nous avons présenté une étude des différentes caractéristiques géomorphologiques des bassins versants d'étude situés dans le nord Algérien (18 bassins) ; ensuite une étude hypsométrique a été réalisée dans le but de déterminer les différents stades d'érosion de ces bassins. Ce travail est structuré en quatre chapitres distincts :

Dans le premier chapitre, nous présentons le concept de la méthode hypsométrique utilisée ainsi que les travaux réalisés par certains auteurs.

Dans le chapitre 2, nous donnons une présentation de la zone étude avec la situation géographique des bassins utilisés leurs contexte géologique et climatique.

Le chapitre 3 se rapporte à une étude détaillée des caractéristiques morphologiques des bassins d'étude.

Dans le chapitre 4, nous avons procédé à l'application de l'analyse hypsométrique pour chaque bassin avec un tracé des courbes hypsométriques et des courbes de fréquences altimétriques, et le calcul des différentes valeurs de l'intégrale hypsométrique. A la fin de ce chapitre nous présentons une analyse et interprétation des résultats obtenus.

Ce travail se termine par une conclusion générale qui fait la synthèse des résultats obtenus.

CHAPITRE I :

NOTIONS ET TRAVAUX ANTERIEURS SUR L'ANALYSE HYPSONOMETRIQUE

Chapitre I

Notions et travaux antérieurs sur l'analyse hypsométrique

1.Introduction :

L'idée de l'hypsométrie a été introduite pour la première fois par Langbein et Basil en 1947 pour exprimer la pente globale et les formes du bassin de drainage, puis a été développée par Strahler (1952) pour inclure la courbe hypsométrique en pourcentage et l'intégrale hypsométrique.

L'hypsométrie décrit la mesure et l'analyse des relations entre la distribution des élévations à travers une zone de surface terrestre et une zone de bassin. Weissel et al. (1994) ont suggéré que l'hypsométrie peut refléter l'interaction entre la tectonique et le degré de déséquilibre dans l'équilibre des érosifs, et pourrait fournir un indice géomorphique précieux qui limite l'importance relative de ces processus. L'analyse hypsométrique est une méthode utile pour identifier le stade atteint par un bassin versant dans le cycle d'érosion actuel et évaluer l'état d'érosion d'un bassin, et exprime également les processus dénudatifs d'une région. Outre le stade d'érosion de l'évolution du relief, l'influence de l'activité tectonique, du changement climatique et des facteurs lithologiques contrôlant l'évolution du relief peut être analysée à partir d'une analyse hypsométrique (Lifton et Chase, 1992; Moglen et Bras, 1995; Willgoose et Hancock, 1998; Hurtrez et Lucazeau, 1999; Chen et al., 2003; Huang et Niemann, 2006). Ainsi, l'analyse hypsométrique peut être utilisée comme estimateur de l'état d'érosion d'un bassin versant et les hiérarchiser pour adopter des mesures de conservation des sols et de l'eau, qui est la condition préalable à la planification et à la gestion du bassin.

2.La courbe hypsométrique :

Les courbes hypsométriques et l'intégrale hypsométrique sont des indicateurs importants de l'état des bassins versants. L'ampleur des déséquilibres dans l'équilibre des forces érosives et tectoniques est liée aux différences de forme de la courbe hypsométrique et des valeurs intégrales [30]. La comparaison de la forme de la courbe hypsométrique pour différents

bassins hydrographiques dans des situations hydrologiques similaires donne un aperçu relatif du mouvement du sol dans le passé des bassins [25].

Ainsi, la forme de la courbe hypsométrique explique les changements temporels de la pente du bassin d'origine. Après analyse des formes des courbes hypsométriques de nombreux bassins versants, Strahler (1952) a classé les bassins comme jeunes (très énergiques), matures (moins énergiques) et déformés ou anciens. Ces formes de courbes hypsométriques décrivent les étapes de l'évolution du paysage, qui fournissent également une indication de l'état d'érosion du bassin versant [24,25]. Il y a des variations fréquentes dans les formes des courbes hypsométriques au cours des premiers stades géomorphiques de la croissance, suivies d'un changement minimal, une fois que le bassin versant a atteint le stade de maturité. Les courbes hypsométriques de forme concaves montrent que le bassin versant atteint l'état stabilisé et les courbes hypsométriques convexes indiquent une plus grande sensibilité du bassin versant aux processus d'érosion [14]

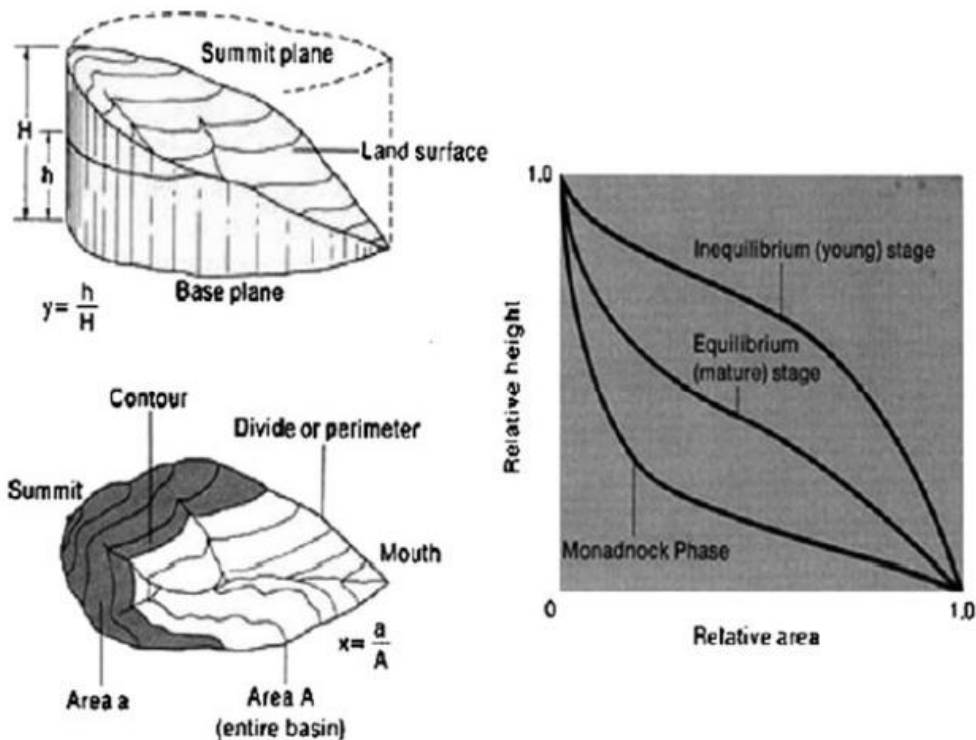


Figure I.1:Le concept d'analyse hypsométrique et le modèle de courbes hypsométriques (Ritter et al. 2002)

3.L'intégrale hypsométrique :

L'intégrale hypsométrique est un paramètre géomorphologique qui permet de classer les stades géologiques du développement des bassins versants. Il est important pour l'estimation de l'état d'érosion du bassin versant, et il contribue par conséquent à prioriser les bassins versants pour proposer des activités de conservation des sols et de l'eau. De plus, l'intégrale hypsométrique est une indication du «cycle d'érosion» [27]. Le «cycle d'érosion» est le temps total nécessaire pour réduire une superficie au niveau de base, le niveau le plus bas auquel les cours d'eau pourraient réduire une région si tous les facteurs restent constants sauf le temps. Cette période entière de `` cycle d'érosion " peut être divisée en trois étapes (tableau I.1) :

(I) bassin versant entièrement stabilisé géologiquement appelé monadnock (ancien) ($H_{si} < 0,3$)

(II) équilibre ou stade mature ($0,3 < H_{si} < 0,6$)

(III) déséquilibre ou stade jeune ($H_{si} > 0,6$) dans lequel le bassin versant est très sensible à l'érosion .L'intégrale hypsométrique sans dimension, est liée au volume de masse terrestre restant pour l'ensemble du bassin [8].

L'intégrale hypsométrique peut être définie à partir de la formule de Pike et Wilson (1971) [20]:

$$H I = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{H_{\text{moy}} - H_{\min}} \times 100$$

H_{moy} , $H_{\max}$, $H_{\min}$ sont respectivement l'altitude moyenne, l'altitude maximale et l'altitude minimale.

Tableau I.1: Valeurs hypsométriques et leur stade géologique correspondant, formes de courbes et potentiel d'érosion (Strahler 1952b)

	Stade géologique (Géomorphique)	F orme de la courbe hypsométrique	Intégrale hypsométrique	Potentiel d'érosion
1	Vieux (Monadnock)	Concave	<0.3	Faible (entièrement stabilisée)
2	Mature	En forme de S	0.3 -0.6	Moyen (moyennement stabilisé)
3	Jeune	Convexe	>0.6	Élevé (totalement non stabilisé)

Premières applications de la méthode

Strahler (1952) et Schumm (1956) ont utilisé l'analyse hypsométrique (ou altitude de zone) pour différencier les formes d'érosion à différents stades de leur évolution. Ce type d'analyse consiste à calculer le pourcentage de la superficie du bassin de drainage au-dessus de chacune d'une série d'altitudes données. L'intégrale hypsométrique est l'aire sous la courbe reliant le pourcentage du relief total du bassin au pourcentage cumulé d'aire, fournissant une mesure de la distribution du volume de la masse continentale restant au-dessus d'un plan de référence de base (généralement l'embouchure du bassin versant) [8,10]. L'analyse hypsométrique a été appliquée principalement aux bassins de drainage individuels et interprétée en termes de degré de dissection du bassin et d'âge relatif du relief.

Strahler (1952) a appliqué cette technique à plusieurs bassins versants dans des zones de relief, de climat, de structure géologique, de type de roche et de végétation divers.

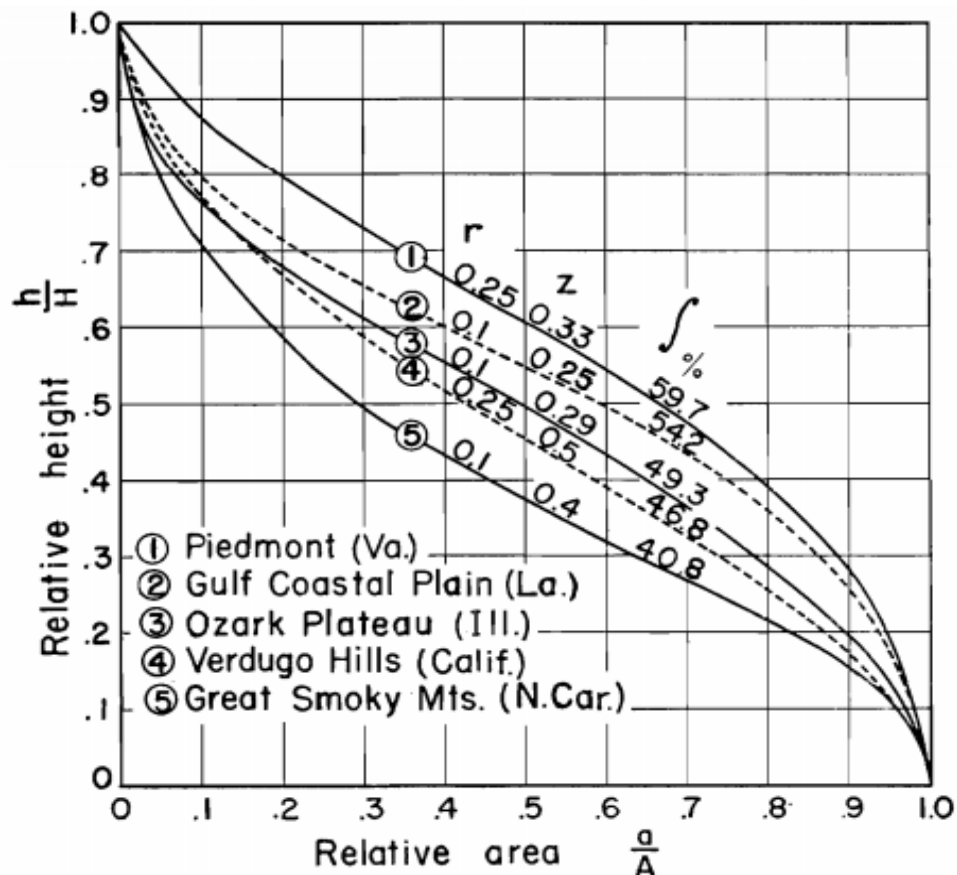


Figure I.2: Courbes hypsométriques au stades d'équilibre [27]

Quelques travaux de recherche d'application de l'analyse hypsométrique

L'analyse hypsométrique a été largement utilisée pour identifier les stades de développement géomorphiques (stade jeune, stade d'équilibre et stade de vieillesse) afin d'évaluer la propension à l'érosion des bassins versants voici quelques travaux :

SINGH (2008)

Une analyse hypsométrique a été utilisée par Singh en 2008 ; Dans cette étude, des efforts ont été faits pour estimer les valeurs hypsométriques intégrales des bassins versants de Sainj et Tirthan et de leurs sous-bassins versants dans l'Himalaya inférieur en utilisant quatre techniques différentes, et pour comparer les techniques procédurales de son estimation et de leur pertinence sur l'état d'érosion. Il a été révélé que l'intégrale hypsométrique calculée par la méthode du rapport élévation-relief était précise, moins lourde et facile à calculer dans un environnement SIG. La comparaison de ces valeurs hypsométriques intégrales a également révélé que le bassin versant de Sainj (0,51) était plus sujet à l'érosion que le bassin versant de Tirthan (0,41). Ainsi, la valeur intégrale hypsométrique peut être utilisée comme estimateur

de l'état d'érosion des bassins versants conduisant à la priorisation des bassins versants pour l'adoption de mesures de conservation des sols et de l'eau dans les systèmes de bassins versants.[25]

SHARMA(2013)

Une autre étude a été effectuée en Inde par Sharma et al. en 2013 sur le bassin versant de Kanhiya Nala dans le nord de l'Inde. Trois approches différentes ont été utilisées pour estimer les intégrales hypsométriques et pour comparer l'approche procédurale et les conséquences sur l'état d'érosion. Il était évident d'après l'étude que l'intégrale hypsométrique calculée par la méthode du rapport élévation-relief était plus précise et plus facile à calculer dans un environnement SIG (Système d'Information Géographique). Les valeurs intégrales hypsométriques pour tous les sous-bassins versants de Kanhiya Nala varient entre 0,39 et 0,67. Dans la zone d'étude, deux stades de développement du cycle d'érosion, à savoir les stades d'équilibre et de jeunesse sont identifiés [11].

FARHAN (2016)

Pour la Jordanie l'analyse hypsométrique a été réalisée sur 22 bassins versants dans la région du fleuve Jourdain, de la mer Morte et les bassins versants de Wadi Araba. La méthode du rapport surface-élévation a été utilisée pour extraire une variation importante des valeurs des intégrales hypsométriques (entre 0.26 et 0.87) et les courbes hypsométriques. Ces résultats signifient qu'il y a une variation importante des différents stades d'érosion dans la zone d'étude. L'analyse des courbes et intégrales hypsométriques indiquent que dix-sept sous-bassins versants du Jourdain et de la mer Morte sont moins érodés et au stade de la jeunesse du cycle géomorphique de l'érosion. Les bassins versants drainant vers Wadi Araba sont de valeurs IH intermédiaires (0,41 - 0,58) qui sont associées à un équilibre, ou équilibre dynamique entre l'érosion et les processus tectoniques. De plus, Wadi Nukhaileh donne la valeur IH la plus basse (0,26) et est associée à un terrain fortement érodé de l'évolution géomorphique mature tardive, se rapprochant donc d'un stade ancien. Les différences dans les valeurs IH peuvent être attribuées à la disparité du taux de soulèvement tectonique, des hauteurs au niveau de base et des hauteurs moyennes, et à la variation de la lithologie. [11].

ANGELES Martinez Ramirez (2017)

Angeles Martinez-Ramirez a proposé des stratégies de gestion des ressources en eau disponibles pour faciliter et simplifier les processus de recherche et d'exploration de lieux

adaptés à la capture des eaux de surface dans les zones arides et semi-arides basée sur des outils mathématiques tels que l'analyse hypsométrique , morphométrique et les informations climatologiques.

L'analyse a été effectuée sur le bassin de Tierra Nueva au Mexique. La méthodologie proposée facilite et simplifie les processus de recherche et d'exploration de lieux propices à la capture des eaux de surface dans les zones arides et semi-arides, en identifiant de manière qualitative et quantitative la zone optimale. Les résultats obtenus en réalisant l'analyse hypsométrique du bassin et de ses sous-bassins respectifs sont comme suit :

Les sous-bassins de Villela, Lourdes et Carmen sont au stade d'équilibre bien que Carmen soit proche de la phase monadnock ; ils sont les plus appropriés pour être considérés comme des zones de mise en œuvre de projets de gestion de l'eau car ils ne peuvent s'éroder rapidement que s'il y a de fortes tempêtes qui entraînent des taux de ruissellement élevés [16]

CHAPITRE II :

PRESENTATION DE LA ZONE

D' ETUDE

Chapitre II :

PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

1. INTRODUCTION

L'érosion hydrique reste un problème majeur en Algérie septentrionale dont le principal facteur est le ruissellement de surface. Cette érosion est liée aux facteurs précipitations, aux caractéristiques géologiques et bio-physiographiques (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 défrichements des forêts et maquis qui protégeaient les sols sensibles [29]

L'érosion hydrique affecte 28 % des terres de l'Algérie du Nord. Ce sont les terres à fortes pentes des massifs telliens qui sont les plus touchées. Elle se manifeste par la formation de rigoles et de ravines sur tout le versant avec affleurement de la roche-mère et une évolution en bad-lands [13]

L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres, est la région la plus érodée du pays ; viennent ensuite les régions du Centre (27%) et de l'Est (26%) .[19]

2. DESCRIPTION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE

La zone d'étude englobe la partie nord de l'Algérie, dix huit bassins versants (18) ont été choisis

Dans cette zone pour notre étude.

De par la grande extension de l'Algérie du nord au sud (environ 2000 km de la côte méditerranéenne au massif du Hoggar) le climat est varié ; la partie nord possède un climat méditerranéen ,la partie sud possède en majorité un climat aride. Cependant entre ces deux grands types de climats, existent des climats de transition, notamment le climat semi-aride qui correspond à un climat méditerranéen avec une sécheresse ne se limitant plus uniquement à la saison estivale mais à une bonne partie de l'année mais aussi un climat méditerranéen aux

influences montagnardes, un petit plus continental. Néanmoins, l'Algérie est un pays de la zone subtropicale où le climat dominant est chaud et sec.

La lithologie de la région est principalement formée de plus de 75% des argiles et des limons[29].

Le Nord du pays étant essentiellement montagnard, les conditions physiques, géomorphologiques sont particulièrement favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène d'érosion.

3. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE :

L'Algérie compte 17 grands bassins-hydrographiques dont 16 sont situés au nord (figure II.1) Les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables.

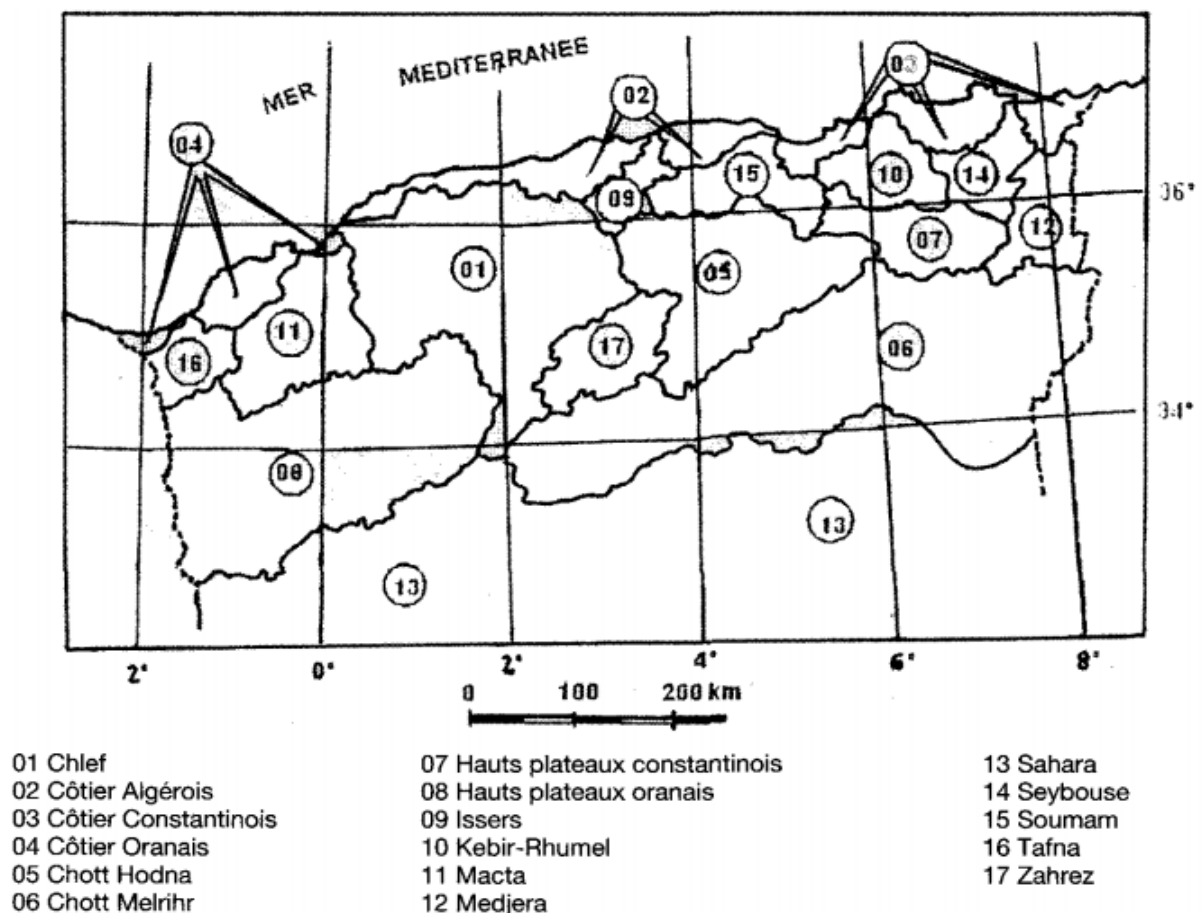


Figure II. 3 : Les principaux bassins versants de l'Algérie.

Pour notre étude on a utilisé 18 bassins versants situés dans la partie nord du pays (figure II.2)

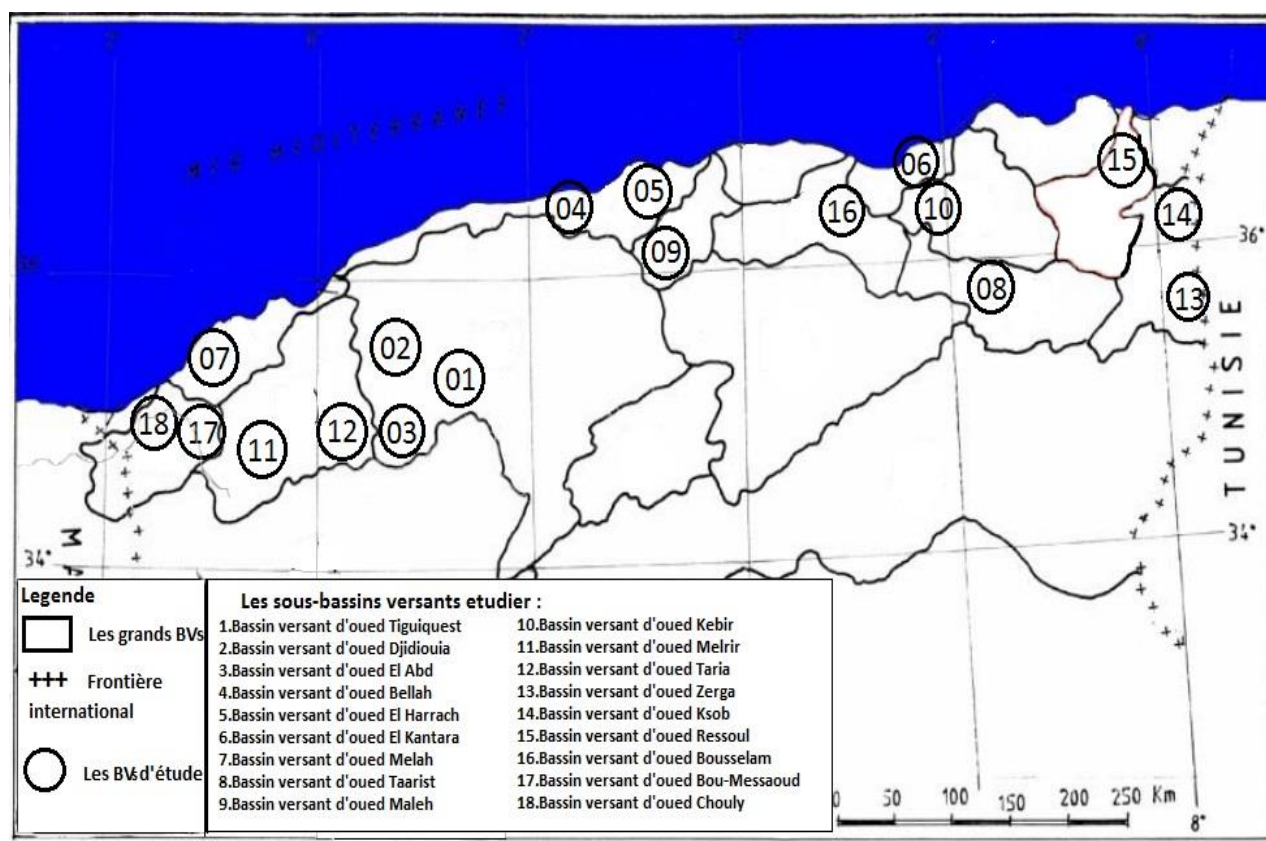


Figure II. 4 : Localisations des Bassins versant étudiés

3.1. Bassin versant d'Oued Tiguiguest

Situation géographique

Il est situé au nord-ouest du pays. il est délimité au nord, par la wilaya de Mostaganem, à l'ouest, par la wilaya de Mascara, à l'est, par la wilaya de Chlef, au sud, par les wilayas de Tiaret et Tissemsilt. L'oued Tiguiguest occupe une surface de 429 km².

Relief

Le bassin versant du Tiguiguest est caractérisé par une orographie typique. Des chaînes montagneuses, parallèles à la côte, séparées par les zones basses ou par de hautes plaines, en constituent les principaux traits. Cette disposition correspond à la structure géologique, mais sa réalisation fut assez récente puisqu'elle ne s'est introduite définitivement dans le relief qu'au cours de la période Miocène.

Climat

Le climat y est chaud et tempéré. A la région d'étude, les précipitations sont plus importantes en hiver qu'en été. La température moyenne annuelle est de 16.6 °C à Mascara. Les précipitations annuelles moyennes sont de 487 mm.

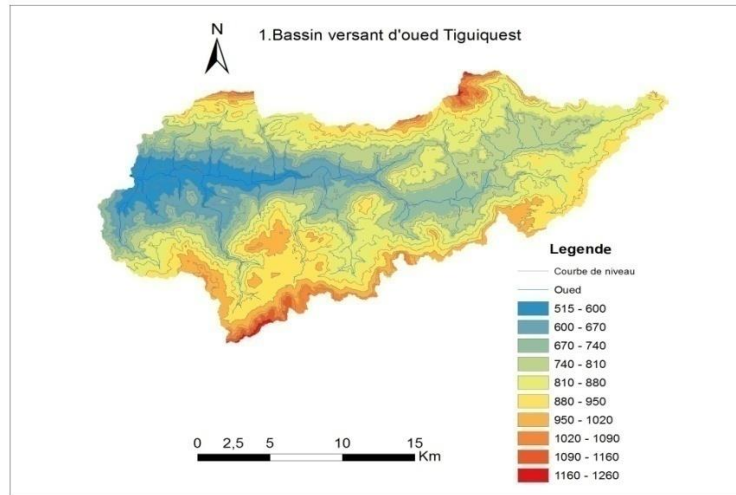


Figure II. 5: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Tiguiquest

3.2. Bassin versant d'Oued Djidiouia

Situation géographique

Il est situé à chef-lieu de commune de Daïra de wilaya de Relizane située à 9 km à l'ouest de Rhio sur la RN4, constituée des communes de Hamri et Ouled Sidi Mihoub, elle s'étend sur une superficie de 860 km². [8]

Relief

La wilaya de Relizane se divise en deux reliefs montagneux : les monts d'Ouarsenis au sud-est et les monts de Beni Chougrane au sud – ouest.

Climat

Le climat y est chaud et tempéré. La pluie dans Djidiouia tombe surtout en hiver, avec relativement peu de pluie en été. Sur l'année, la température moyenne à Djidiouia est de 18.2 °C. Il tombe en moyenne 380 mm de pluie par an.

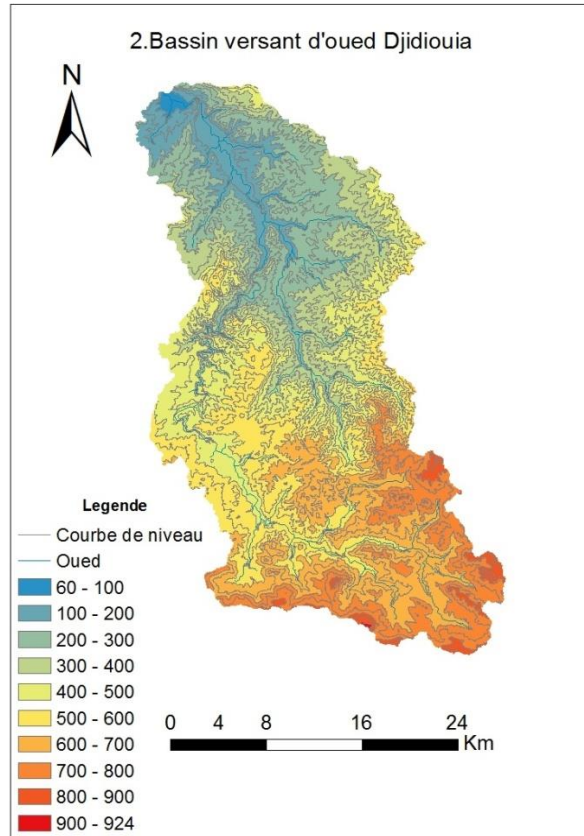


Figure II. 6: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Djidiouia

3.3. Bassin versant d'Oued El Abd

Situation géographique

Le bassin versant de l'oued El Abd fait partie du bassin de l'oued mina.

Le bassin versant d'Oued El Abd est situé dans la région occidentale du nord de l'Algérie.

Géographiquement, Il s'inscrit entre les latitudes 34°40' et 35°25' Nord et 0°20' et 1°10' Est.

- Il est limité au nord-ouest par le bassin versant d'oued El Haddad, à l'ouest on trouve les monts de Saida, au Sud les plateaux telliens contenant aussi les monts de Frenda et de Saida d'une altitude de 900 à 1300 m, où affleurent souvent des calcaires et à l'Est le bassin versant d'Oued El Taht.[4]

Relief

A partir des courbes hypsométriques et des courbes des fréquences altimétriques, on peut tirer une conclusion pour le relief d'oued El Abd:

Les tranches d'altitude supérieures à 1 200 m sont très peu étendues dans le bassin versant de l'oued Mina, dont fait partie notre bassin.

Climat

Le climat de la région est de type semi-aride à méditerranéen, il est caractérisé par une saison humide et autre sèche (pluie d'hiver, sécheresse estivale). La saison des pluies est d'octobre à mars, et la saison sèche dure d'avril à août /Septembre. Avec une pluie moyenne inter annuelle de 238,14 mm.

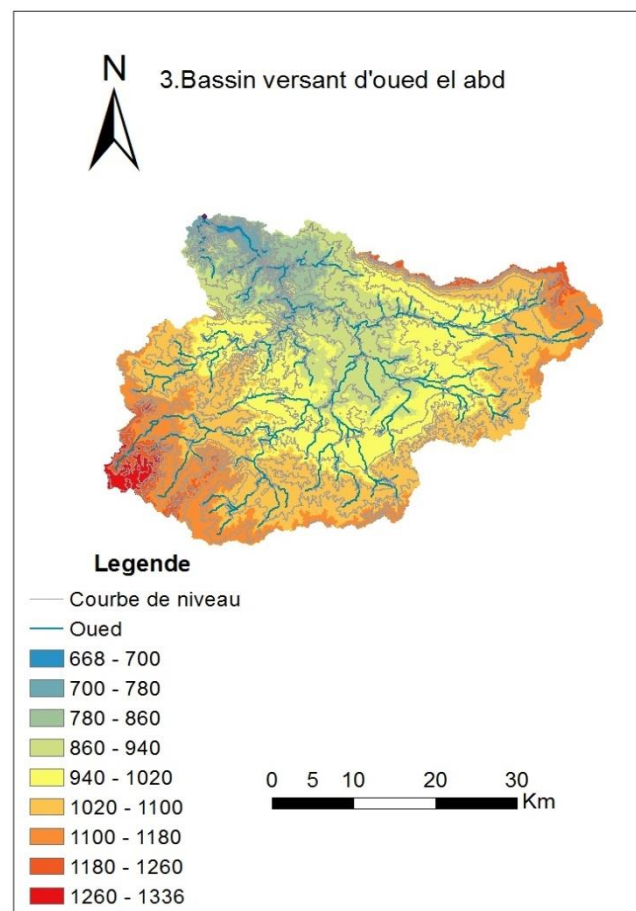


Figure II.7: Carte des altitudes du bassin versant d'oued El abd

3.4. Bassin versant d'Oued Bellah

Situation géographique

Le bassin versant de l'Oued Bellah est situé en zone semi-aride. Il s'étend sur une superficie de 55 km² pour un périmètre de 38 km. Bassin du côtier algérois, faisant partie de la wilaya de Tipaza, il est situé à une centaine de kilomètres à l'Ouest de la capitale Alger. Il est situé entre 2°9 33,84 et 2°16 1,2 de longitude Est et entre 36°30 7,56 et 36°36 41,76 de latitude Nord

Relief

Le bassin versant de l'Oued Bellah est de type montagneux. Il a une altitude moyenne de 254 m et l'altitude à l'exutoire est de 25 m. Il est caractérisé par une altitude maximale de 736 m.

Les principaux types de sol dans le bassin versant d'Oued Bellah sont les sols alluviaux, dans la vallée de l'Oued Bellah et les sols calcaires dans la plus grande partie du bassin versant.

Climat

Le climat de ce bassin est semi-aride du type méditerranéen avec une saison des pluies en hiver et une saison sèche en été. Le bassin reçoit entre 600 et 800 mm de pluie alors que la température moyenne varie entre 7,5 et 25,5 °C. La précipitation moyenne a été obtenue à partir de la carte pluviométrique d'Algérie du Nord. Elle est égale à 700 mm.[10]

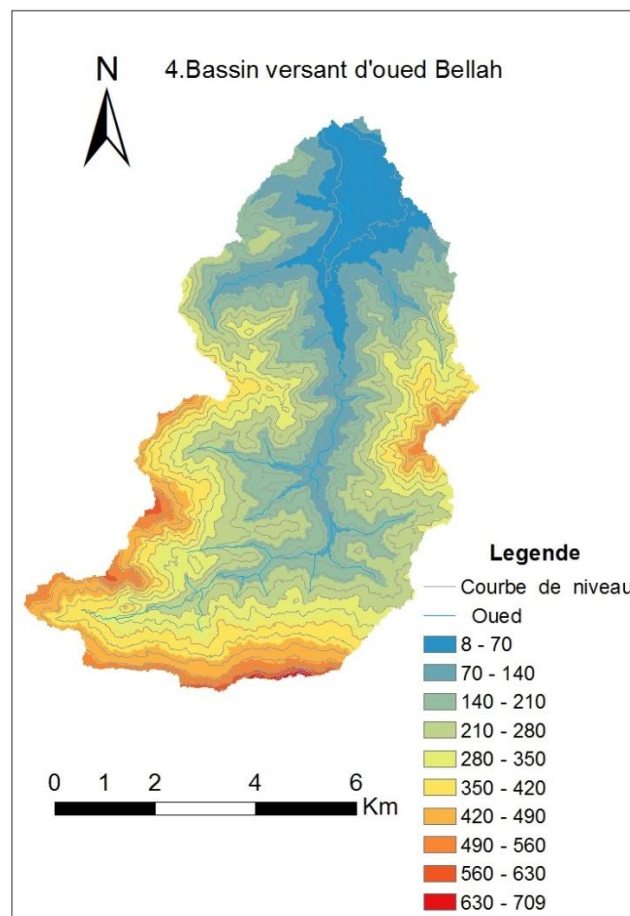


Figure II.8: Carte des altitudes du bassin versant d'Oued Bellah

3.5. Bassin versant d'Oued El Harrach

Situation géographique

L'Oued El Harrach est située à 35 km au sud d'Alger, il prend sa source dans l'Atlas blidéen près de Hammam Melouane. Il est long de 67 kilomètres et se jette dans la Méditerranée, en plein milieu de la baie d'Alger. Le bassin d'Oued El-Harrach amont couvre une superficie de 387 km². Avec un périmètre de 96 km.

Relief

La région d'oued El Harrach correspond à une zone montagneuse, où 85% de l'espace est recouvert de forêts qui se sont développées sur des matériaux argileux calcaires, marneux, schisteux et gréseux calcaires. Elle se présente comme une barrière rocheuse à topographie assez complexe avec une altitude moyenne de 843m. L'altitude à l'exutoire (station Rocher des pigeons) est de 268m. Du nord vers le sud, le relief prend de l'ampleur vers une côte maximale de 1426m et une pente moyenne de 41.56 %.

Climat

La région d'oued El Harrach bénéficie d'un climat tempéré chaud. En hiver, les pluies sont bien plus importantes à l'oued qu'elles ne le sont en été. La température moyenne annuelle à Alger Centre est de 17.7 °C. Les précipitations annuelles moyennes sont de 707 mm.[5]

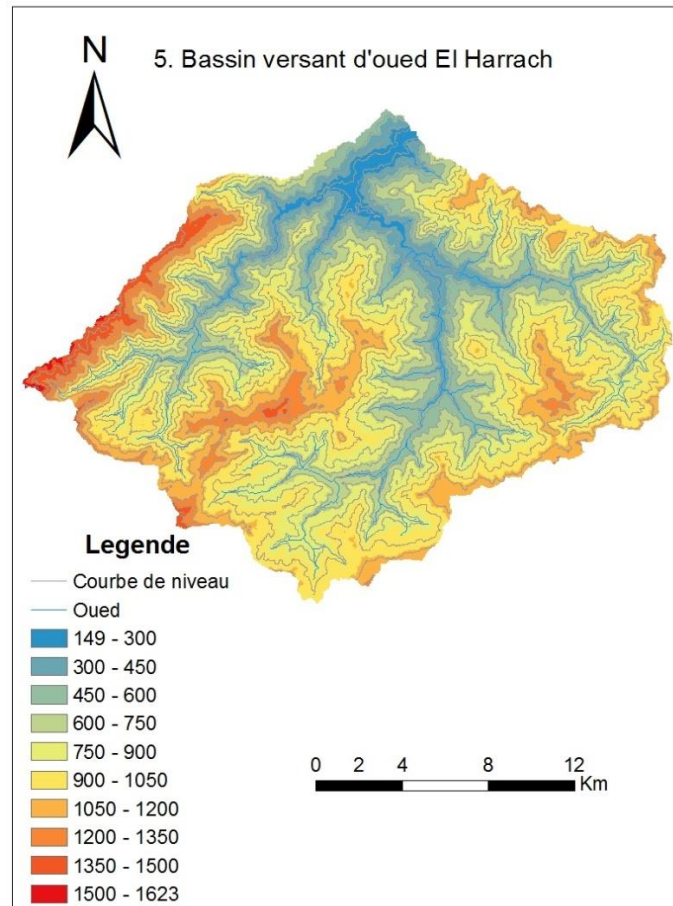


Figure II.9: Carte des altitudes du bassin versant d'oued El Harrach

3.6. Bassin versant d'Oued El Kantara

Situation géographique

Est un sous bassin versant du grand bassin côtiers constantinois, il se situe dans la Sud-Est de la ville de Jijel il couvre une superficie de 19 km².

Relief

Le relief du bassin versant se situe en zone de moyennes montagnes, caractérisé par une couverture végétale très abondante

Climat

Le bassin versant possède un climat tempéré avec un hiver doux caractéristique des zones méditerranéennes. La température moyenne à Jijel est de 18,2 °C et bénéficie d'une pluviométrie de l'ordre de 1 200 mm/an.

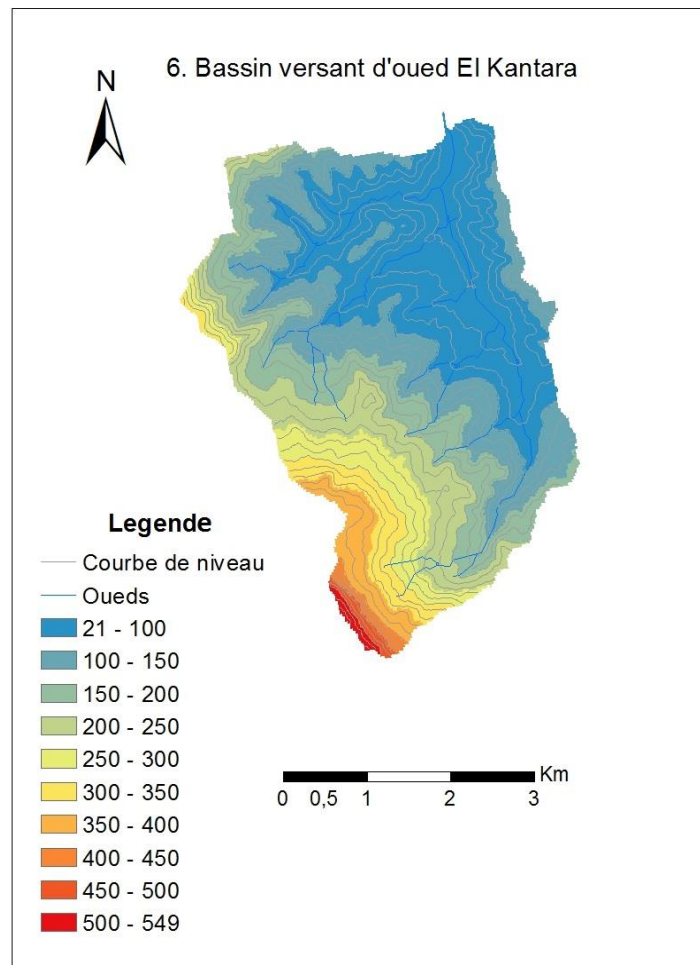


Figure II.10: Carte des altitudes de bassin versant d'oued El Kantara

3.7. Bassin versant d'Oued melah

Situation géographique

Il traverse la commune de Rebaia au sud-est de Médéa, qui est située dans l'Atlas tellien, à 88 km au sud d'Alger, depuis les hauteurs d'El Kaf -lekhdr.

Relief

La zone étudiée est entourée sur les côtés ouest et nord par une chaîne de montagnes et une zone de collines situées au milieu de la région étudiée.

Climat

La Wilaya de Médéa possède un climat méditerranéen chaud avec été sec. Sur l'année, la température moyenne à Médéa est de 15.9°C et les précipitations sont en moyenne de 676.3 mm.[18]

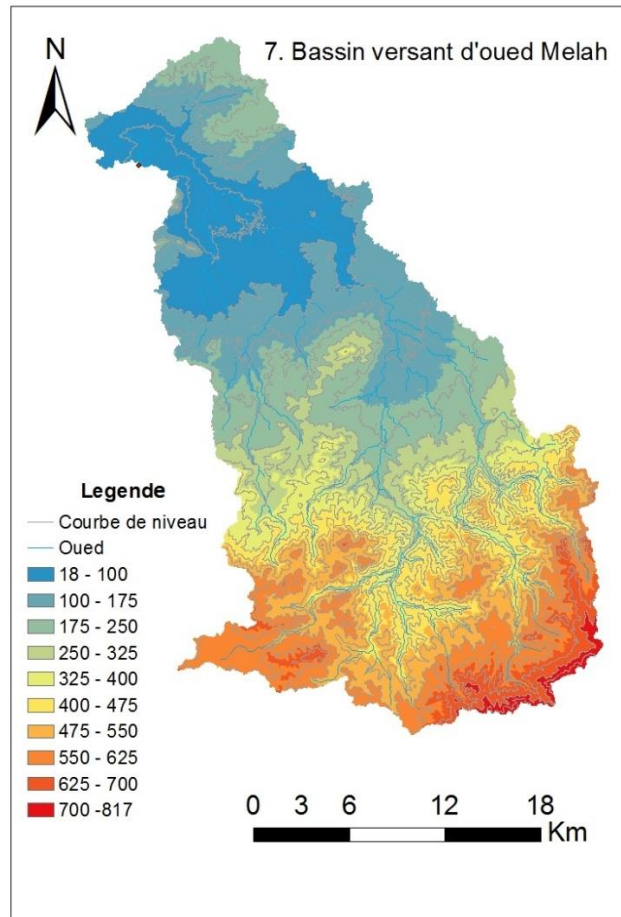


Figure II.11: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Mellah

3.8. Bassin versant d'Oued Taarist

Situation géographique

Il est situé dans la province de la Wilaya de Batna, dans la partie nord du pays, à 400 km à l'est d'Alger, approximativement entre $35^{\circ}29'52''\text{N}$ $6^{\circ}41'41''\text{E}$ / 35.4978°N 6.69467°E

Relief

Il est Encadré au Nord par les Monts du Hodna, à l'Est par les Monts du Bellezma et Dj Metlili et au Sud par versant Nord des Monts du Zab (Dj Ammar-Bouzokhma). L'Altitude moyenne est inférieure à 500 m, les précipitations sont inférieures à 300mm. Cette région peut être scindée en 3 zones: La zone des Glacis immédiatement en contrebas des reliefs montagneux (N'Gaous-El Djezzar-Sefiane-Boumagueur et Gosbat). La Plaine du Hodna (M'Doukel –Barika –Bitam –Ouled Ammar) et La zone des Chotts (Azil abdelkader).[2]

Climat

Le climat est de type méditerranéen. La température moyenne est de 17 ° C. Le mois le plus chaud est juillet, à 30 ° C, et le mois de décembre le plus froid, à 6 ° C. La pluviométrie moyenne est de 400 millimètres par an. Le mois le plus humide est mars, avec 55 millimètres de pluie, et le mois le plus sec est aout avec 13 mm.

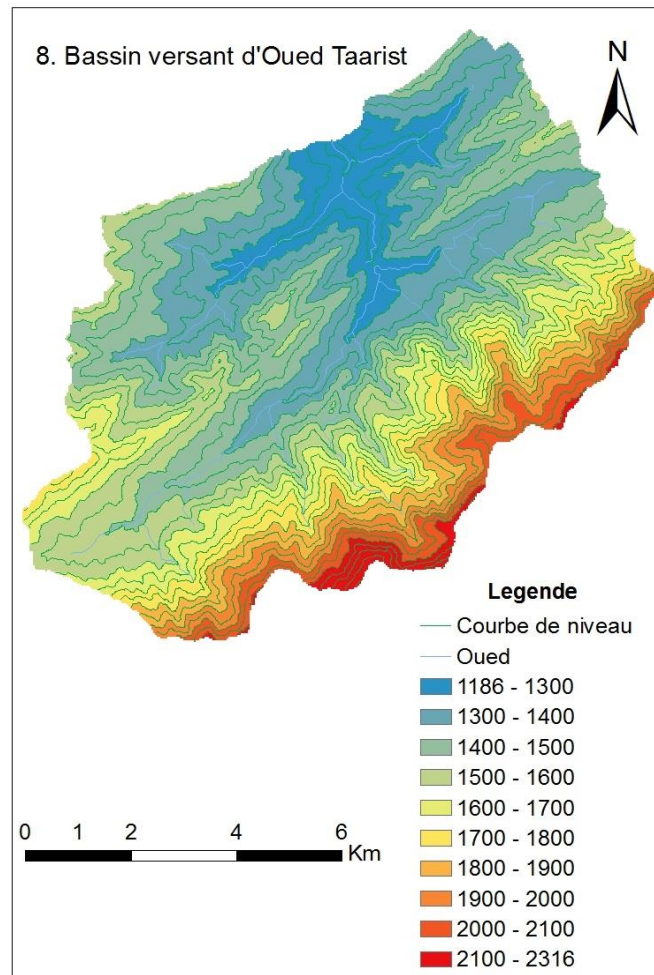


Figure 12: Carte des altitudes de bassin versant d'Oued Taarist

3.9. Bassin versant d'Oued El Malah

Situation géographique

Le bassin versant d'Oued El Malah est situé dans la partie nord-ouest du territoire national, d'une superficie de 697 km² et un périmètre de 135 km, il appartient au grand sous bassin des côtiers oranais, abritant le chef-lieu de la wilaya d'Aïn Temouchent et ses daïras limitrophes (Terga, El Malah...), soit approximativement entre (1° 9' 24" et 1° 26' 17" W) de longitude et entre (35° 17' 22" et 35° 16' 37" N) de latitude. Il est délimité par la mer méditerranée au Nord, les montagnes des Berkeches au Sud, les monts de Sebàa Chioukh au Sud-ouest, les

monts de Tessala au Sud Est, la plaine de la M'leta à l'Est et le bassin de Ouled El Kihel à l'Ouest.

Relief

Le relief d'oued El Malah est constitué par les ensembles physiques suivants :

- La plaine de la M'leta.
- Le Sahel d'Oran (plateau de Guemra, les djebels Touila, Hammar et Touita).
- Les hautes collines de Berkeche.

La carte géologique présente généralement une tectonique cassante dans la région étudiée, telles que les failles normales (5 à 19°) dans le Miocène post-nappe, les formations de Mettmoura, et aussi les formations du Bel Hacer, et les décrochements évident dans la nappe Tellienne et Miocène anté et synchronappe, les Glacis d'ablation SPI, et aussi les épanchements alcalins Plio-pléistocènes.

Climat

La région est caractérisé par un climat méditerranéen humide avec un hiver relativement froid et pluvieux et un été chaud et sec. La température moyenne annuelle est d'environ 18,04 °C.

Le régime général des pluies est celui des zones semi-arides d'après l'indice de De Martonne. Il est caractérisé par des précipitations d'hiver avec un maximum enregistré en mois de Novembre de 60,4 mm, et une période sèche, pratiquement sans pluie s'étendant de la mi-mai jusqu'à la mi-octobre.[15]

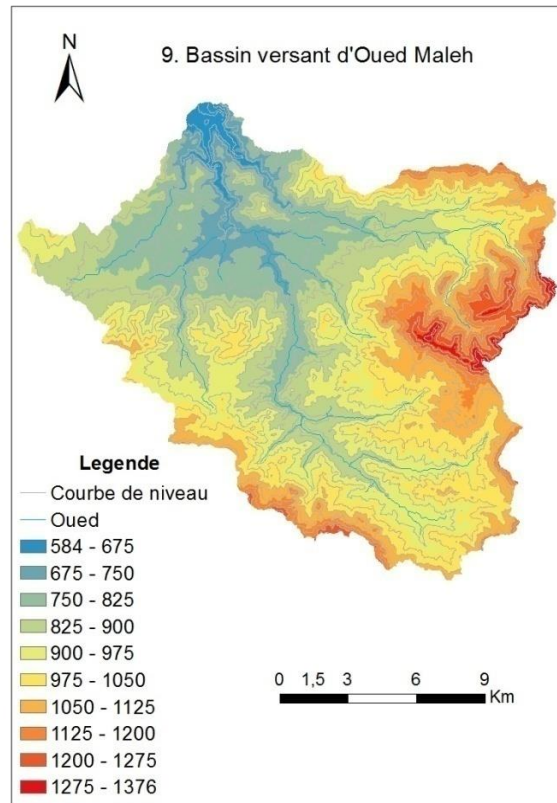


Figure II. 13: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Maleh

3.10. Bassin versant d'Oued el kebir

Situation géographique

Le secteur d'Oued El Kébir est situé à l'Est de la wilaya de Jijel, il est lié, administrativement à la commune d'El Milia (Wilaya de Jijel). L'accès au secteur se fait par la route RN n°43 qui relie la ville de Jijel à El Milia. La plage d'Oued El Kébir est limitée au Nord par la mer Méditerranée au Sud par douar Béni Bélaid, à l'Est par Djebanet El Marsa et à l'Ouest par l'île la Rocher. La surface du bassin versant est égale à 960 km² et son périmètre est de 175 km.

Relief

La région d'El-Milia où se situe le bassin se caractérise par un relief montagneux très accidenté, les montagnes occupent 82 % de la superficie totale, elles culminent à 1 200 m. Elle est caractérisée par un littoral vierge et des petites montagnes couvertes par des végétations assez denses et des sources d'eau.

On distingue principalement deux régions physiques :

La zone des plaines, reliée aux vallées de Oued el Kébir, Oued Boussiaba et les petites plaines de Oued Z'hour.

La zone des montagnes, situées autour de la ville, caractérisées par une couverture végétale très abondante et un réseau hydrographique important.[31]

Climat

La région Possède un climat méditerranéen chaud avec été sec. Sur l'année, la température moyenne à Oued el Kebir est de 18.5°C et les précipitations sont en moyenne de 560.1 mm.

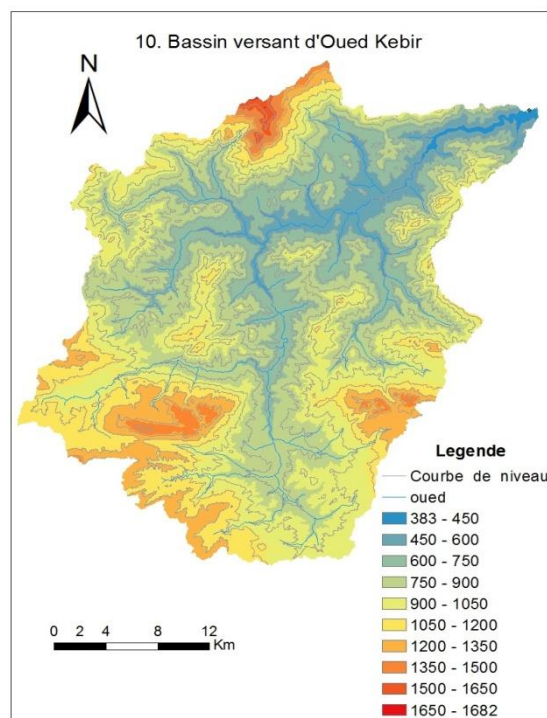


Figure II. 14: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Kebir

3.11. Bassin versant d'Oued Melrir

Situation géographique

Le bassin de l'oued Melrir est situé dans la wilaya de Mascara et au Sud-ouest de la ville de Mascara. Il est limité par la ville de Ain fekkane à l'est et les wilaya de Saïda et Sidi Bel-abbès au sud et à l'ouest respectivement. Il occupe une superficie de 754 km².

Relief

Les roches présentes dans le bassin versant sont toutes d'origine sédimentaire.

Climat

Le climat dans le sous bassin d'oued Melrir est semi aride. Il est caractérisé par des pluies très violentes en automne provoquant une forte érosion.

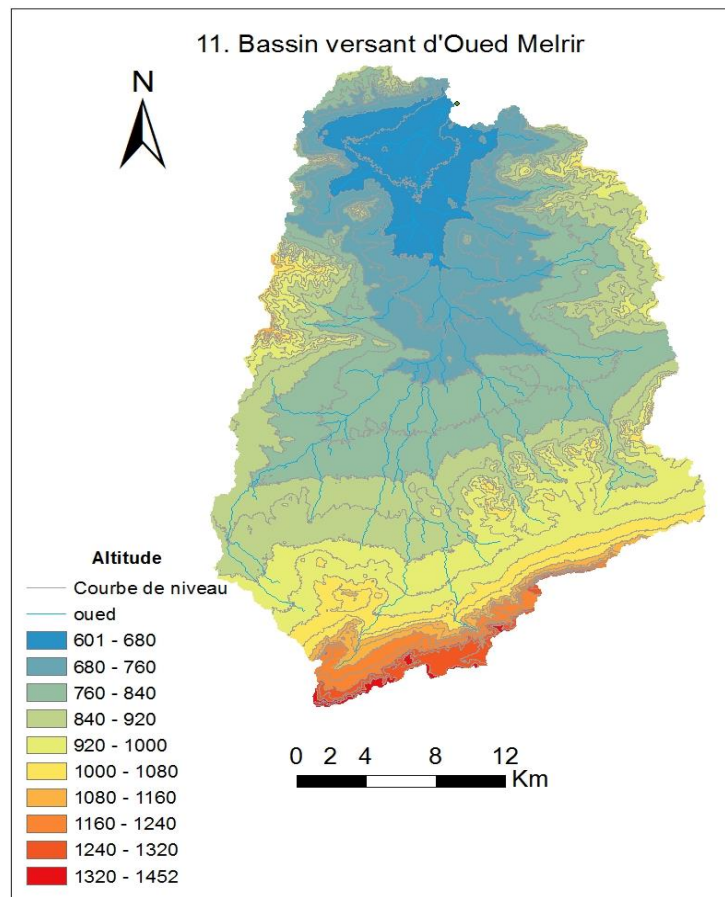


Figure II. 15: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Melrir

3.12. Bassin versant d'Oued Taria

Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Taria appartient au grand bassin versant de la Macta, située au Nord-Ouest de l'Algérie. Il s'étend entre les longitudes 0°25'W - 0°50'E et les latitudes 34°75'N - 35° 25'N. Il est limité au nord par le bassin de la plaine de Ghriss, au sud par le bassin de Chott Chergui, à l'Est par la zone du Chélif et à l'Ouest par le bassin versant de l'oued Saïda.

La surface du bassin est de 1370 km² et le périmètre est de 225 Km.

Relief

Le relief est très fort, ce qui implique un ruissellement superficiel assez rapide, et par conséquent un temps de concentration assez court, et des crues assez importantes.

Pour le cas de notre bassin $H_{max} = 1335$ m et $H_{min} = 471$ m

Climat

La région de l'oued Taria présente une moyenne de précipitation annuelle de 497.68 mm, une humidité moyenne annuelle de 55.9% et une température moyenne de 17.5°C se qui caractérise un climat semi-aride selon les Abaques d'Emberger, . [1]

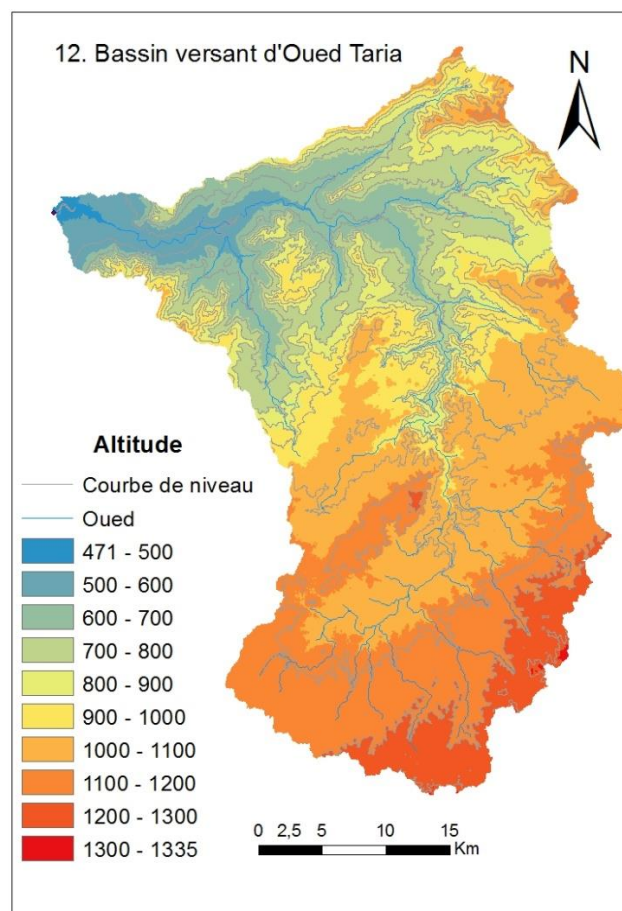


Figure II. 16: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Taria

3.13. Bassin versant d'Oued Zerga

Situation géographique

Il est situé au nord de wilaya de Tebessa, à 37 km, près de la route nationale N° 82, à l'entrée de la ville, il est délimité :

à l'est par la frontière tunisienne

à l'ouest par la commune de Boulhaf Dir et Morsott

Le nord par la El Meridj

Le sud par El kouif

Relief

La zone étudiée est entourée par une grande chaîne de montagne comme les montagnes de Bourbiya s'étendant de l'extrême nord à l'extrême sud, et les montagnes d'El Hawd au côté ouest.

Climat

Tébessa possède un climat subtropical humide chaud à saison sèche. Sur l'année, la température moyenne à Tébéssa est de 16.3°C et les précipitations sont en moyenne de 371mm

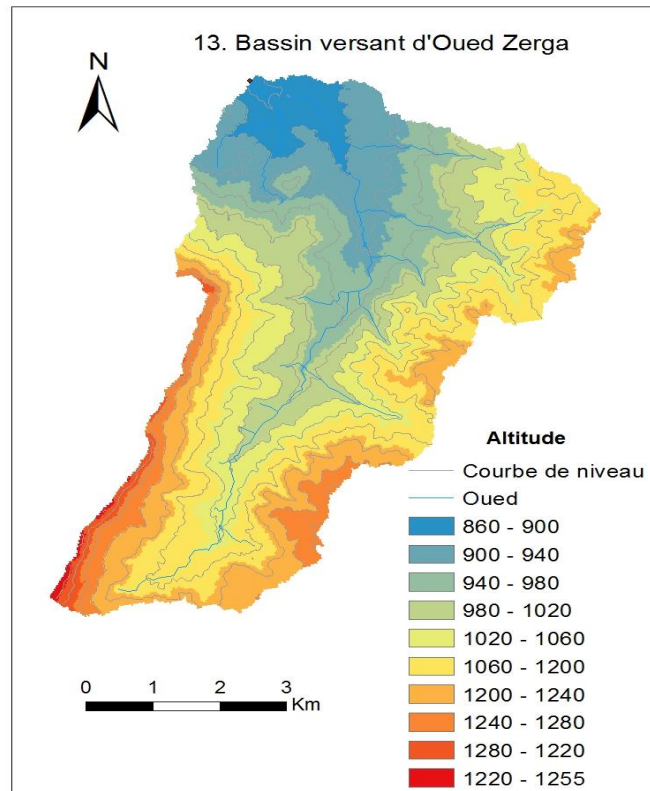


Figure II. 17: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Zerga

3.14. Bassin versant d'Oued Ksob

Situation géographique

La zone étudiée possède une superficie approximative de 511 Km² qui fait partie du bassin de l'Oued Ksob. Elle est située à l'extrême Est Algérien, près de la ville de Tébessa, et à environ 230 Km au sud-est d'Annaba. Elle est limitée au Nord par Dj. Zitouna, au Sud par Dj. Tazbent et Bouramene, à l'Ouest par Dj Matloug et à l'Est par Dj. Djebissa. [9]

Relief

La zone étudiée est limitée au Nord et au Nord-Ouest par la chaîne montagneuse des Bibans ; au Sud et au Sud-Ouest par les monts du Hodna et à l'Est par les hautes plaines de Sétif

Les bordures montagneuses se caractérisent par une structure complexe et charriée ; très écaillée, constituée dans des formations secondaires très variées ; comme les calcaires, les grès, les schistes, les marnes, les marno-calcaires, les dolomies, et les formations triasiques.[23]

Climat

Sur le plan bioclimatique, cette région s'inscrit dans un domaine semi-aride, avec une pluviométrie moyenne annuelle 320 mm, matérialisée surtout par un couvert végétal dégradé.

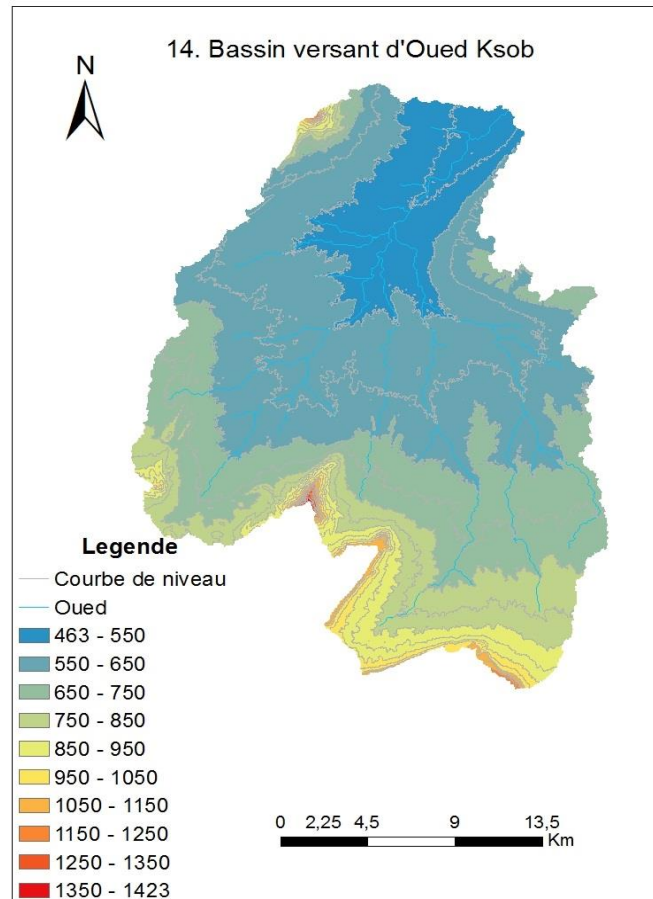


Figure II. 18: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Ksob

3.15. Bassin versant d'Oued Ressoul

Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Ressoul est situé au Nord-est de l'Algérie, Ce bassin s'étend sur une superficie de 108 km² pour un périmètre de 50 km. Il s'allonge dans la direction Sud-Sud-ouest – Nord Nord-est sur une longueur de 20 Km et une largeur de 5 km.

Relief

Le bassin versant de l'oued Ressoul présente un relief moins accentué, il est montagneux dans sa partie Sud. Plus de la moitié (53%) de la surface du bassin versant est située entre les altitudes 100 m et 300 m, ces zones représentent les plaines et les versants.

Climat

Le régime climatique de la zone étudiée est à dominance méditerranéenne avec un été sec et chaud et un hiver humide et frais, Les précipitations dans le bassin versant de l'oued Ressoul e varient de 620 à 714 mm, avec une moyenne de l'ordre de 681 mm [17]

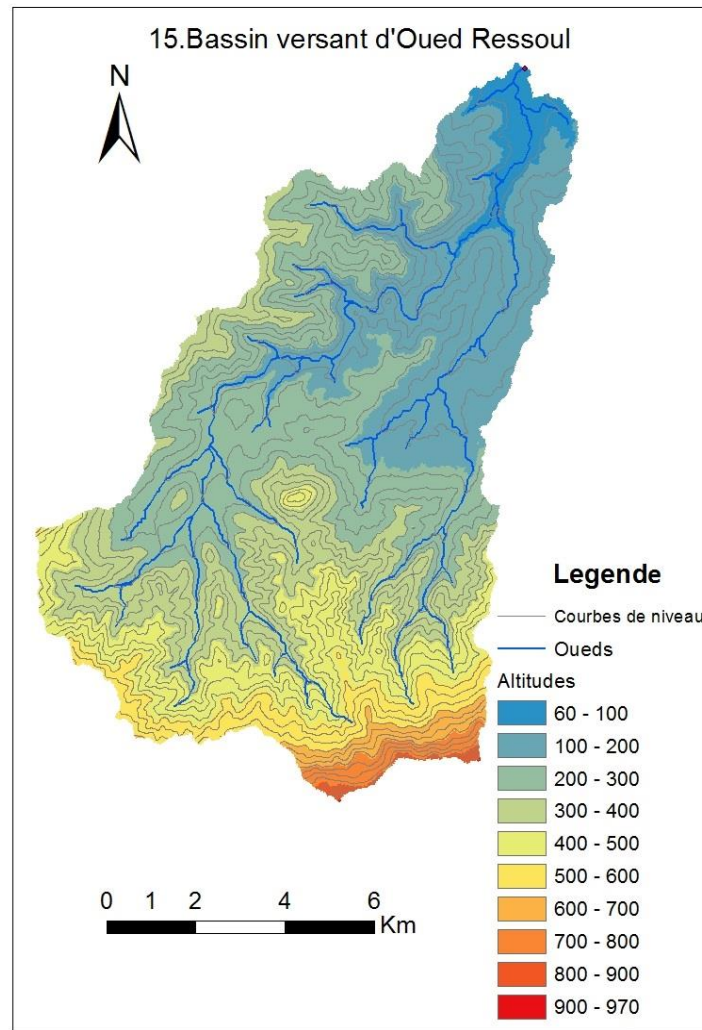


Figure II. 19: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Ressoul

3.16. Bassin versant d'Oued Boussalem

Situation géographique

L'oued Boussalem s'étend sur les hauts plateaux Sétifiens avec une superficie de 3028 Km², une longueur de 150 Km et son périmètre de 360 km. Le bassin est subdivisé en quatre sous bassins : le Boussalem amont, Boussalem moyen, El Main et le Boussalem aval.

Relief

L'altitude moyenne du bassin de Boussalem est de l'ordre de 1000 m, cette valeur traduit un relief moyen à assez fort ou le diagramme des fréquences altimétriques fait ressortir la répartition par tranche d'altitude de la superficie du bassin ainsi nous pouvons aisément constater les diverses altitudes caractéristiques du bassin. La tranche d'altitudes entre 800 et

1000 m s'étale sur une superficie de 1066 km² soit 59.7 % et concerne les vastes plaines sétifiennes jusqu'au barrage de Ain Zada. Dans la région il existe deux chaînes montagneuses : la chaîne de l'Atlas tellien (est-ouest) avec une altitude maximale de 1705 m et la chaîne de l'Atlas saharien.

Climat

Un climat tempéré chaud est présent dans la région de bousselam. En hiver, les pluies sont bien plus importantes qu'elles ne le sont en été. La température moyenne annuelle est de 13.3 °C . La moyenne des précipitations annuelles atteints 469 mm.[7]

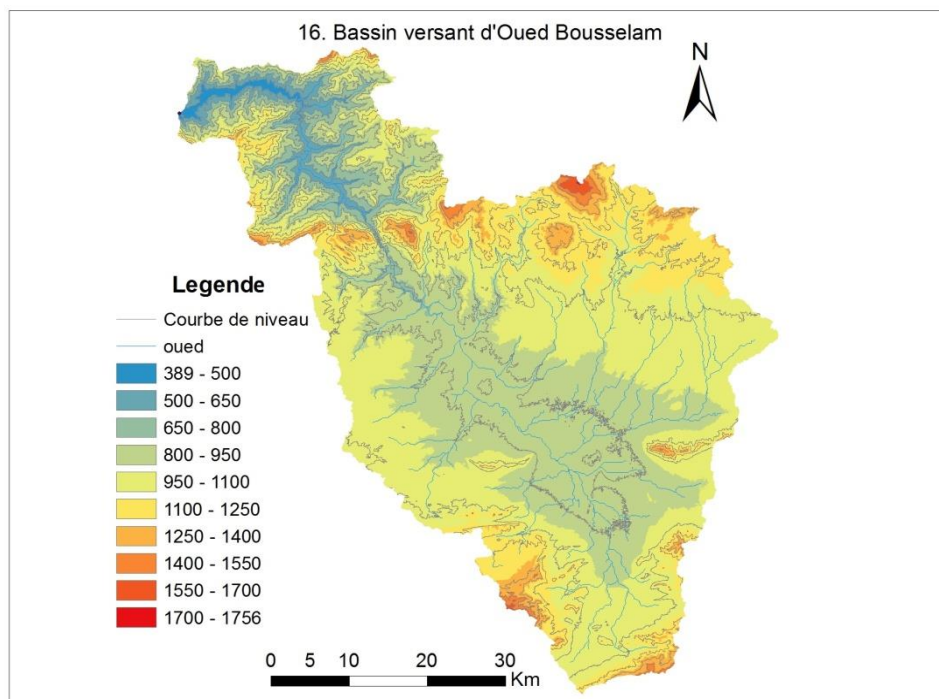


Figure II. 20: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Bousselam

3.17. Bassin versant d'Oued Boumessaoud :

Situation géographique :

Le bassin versant de l'Oued Boumessaoud est situé à l'Ouest de la ville de Tlemcen, dans la partie nord ouest du pays, il occupe une superficie de 115 km² pour un périmètre de 56 km.

Il est limité ;

A l'Est de la route nationale N°98 reliant Tlemcen, Hennaya, Zenata ;

Au Nord par la Tafna, Remchi ;

Au Sud par le plateau de Terny ;

À l'Ouest par l'Oued Zitoun.

Relief :

La région étudiée présente trois secteurs distincts, au Sud une zone montagneuse caractérisée par les massifs calcaires et dolomitiques ;

Au Nord, une dépression remplie de sédiments tertiaires et quaternaire ;

Au centre, une zone intermédiaire , donnant une limite nette entre les terrains calcaréo-dolomitiques du Jurassique et les formations marneuses du Miocène.

Au Sud du bassin s'étale le plateau de Terny.

Climat :

Le climat qui règne dans cette région est de type semi-aride, la température moyenne est de 16,3°C. Le régime pluviométrique est très irrégulier et le bassin reçoit annuellement en moyenne 382 mm à la station d'Henaya

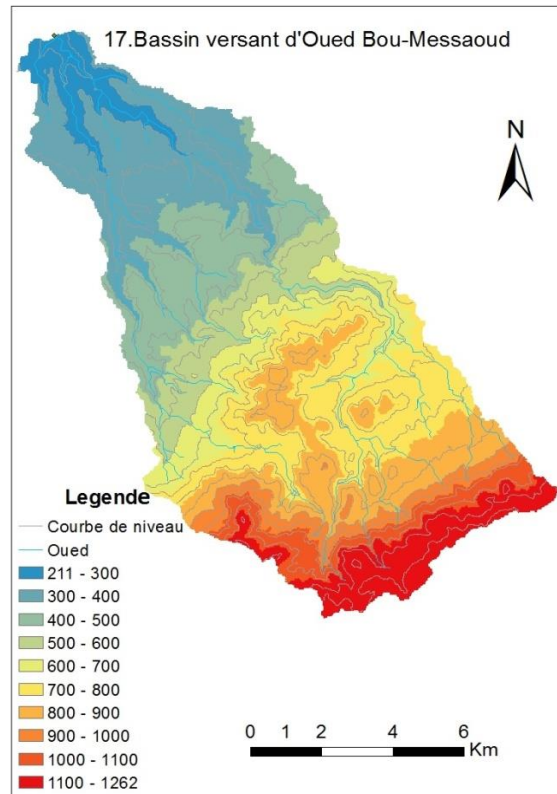


Figure II. 21: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Boumessaoud

3.18. Bassin versant d'Oued Chouly

Situation géographique

Le bassin versant de l'oued Chouly est situé à environ 17 km à l'est de Tlemcen, il s'étend sur une superficie de 175 km² pour un périmètre de 71km.

Relief

La région d'oued Chouly est constituée à plus de 70 % de montagnes et de collines, dont l'altitude extrême atteint 1200 m, et Il prend sa source dans les monts de Tlemcen à environ 900m d'altitude.

Climat

Le climat y est chaud et tempéré. L'hiver à cette région se caractérise par des précipitations bien plus importantes qu'en été. Sa température moyenne annuelle est de 16.0 °C. Sur l'année, la précipitation moyenne est de 484 mm.[6]

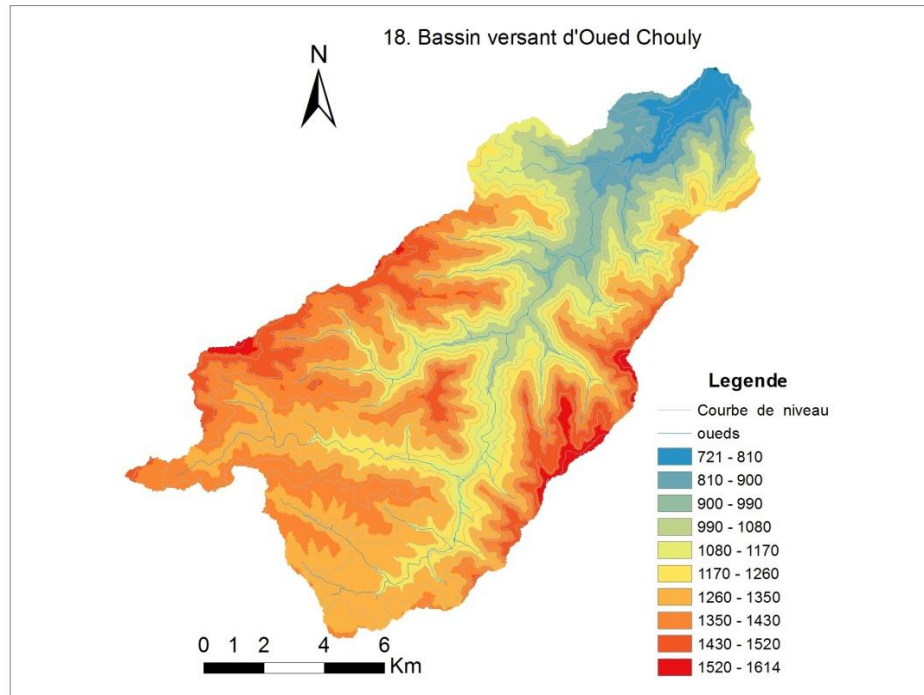


Figure II. 22: Carte des altitudes de bassin versant d'oued Chouly

CHAPITRE III :

CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS D' ETUDE

Chapitre III :

CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS D'ETUDE

1. INTRODUCTION

Les caractéristiques géomorphologiques d'un bassin versant sont importantes à connaître car elles ont un impact important sur le ruissellement de surface et par conséquent sur le taux d'érosion hydrique dans le bassin. Dans cette partie nous avons calculé les principales caractéristiques des bassins étudiées en utilisant des cartes topographiques.

2. QUELQUES RAPPELS ET DEFINITIONS

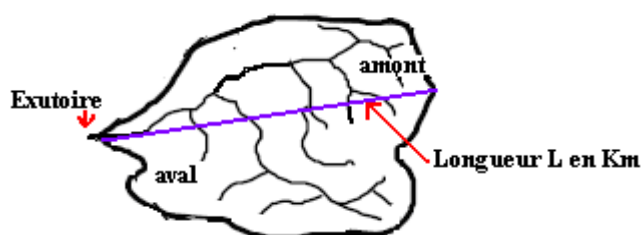
Le bassin versant se définit comme l'aire de collecte considérée à partir d'un exutoire, limitée par le contour à l'intérieur duquel se rassemblent les eaux précipitées qui s'écoulent en surface et en souterrain vers cette sortie. Cette surface de collecte des eaux est constituée de différents matériaux : sol végétal, sol nu , ..., favorisant plus ou moins l'écoulement des eaux. Suivant la taille, la forme, la pente moyenne de cette surface les eaux s'écouleront plus ou moins rapidement. En conséquence, il existe différents paramètres pour décrire un bassin versant :

2.1. La surface du bassin versant

La surface du bassin versant est la première et la plus importante des caractéristiques. La surface d'un bassin s'exprime en km².

2.2. Longueur du bassin versant

Elle représente la ligne qui relie l'exutoire et le point le plus éloigné à l'amont et sur le contour du bassin versant.



2.3. Longueur de talweg principal :

Un talweg correspond à la ligne formée par les points ayant la plus basse altitude, soit dans une vallée soit dans le lit d'un cours d'eau. Exprimé en Km.

2.4. Coefficient de compacité Gravelius :

La caractéristique de forme la plus utilisée est le "coefficient Kc de Gravelius". Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant au périmètre du cercle ayant même surface (appelé aussi coefficient de compacité) :

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

A : surface P : périmètre du bassin versant

$K_c > 1$ Bassin versant allongé ; $K_c = 1$ Bassin versant circulaire

2.5. Densité de drainage Dd :

Elle se définit par le rapport de la longueur totale des cours d'eau à la surface du bassin versant

$$D_d = \frac{\sum l_i}{S} \quad ; \quad \text{Km/Km}^2$$

Elle donne une idée sur le degré de développement du réseau hydrographique dans le bassin versant.

2.6. Les altitudes maximale et minimale :

L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin tandis que l'altitude minimale considère le point le plus bas, généralement à l'exutoire. Ces deux données deviennent surtout importantes lors du développement de certaines relations faisant intervenir des variables climatologiques telles que la température, la précipitation et le couvert neigeux. Elles

déterminent l'amplitude altimétrique du bassin versant et interviennent aussi dans le calcul de la pente.

2.7. Altitude moyenne du bassin versant

C'est un paramètre morphométrique important surtout pour les bassins versants des régions montagneuses. Elle est calculée par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{F_1 \frac{H_1+H_2}{2} + F_2 \frac{H_2+H_3}{2} + F_3 \frac{H_3+H_4}{2} + \dots}{F_1 + F_2 + F_3 + \dots}$$

H1, H2, H3 ... valeurs des courbes de niveau en m

F1, F2, F3 ... surfaces partielles entre les courbes de niveau en km²

H_{moy} en mètres

3. LES CARACTERISTIQUES GEOMORPHOLOGIQUES DES BASSINS VERSANTS ETUDIES

3.1. Bassin versant d'Oued Tiguiquest :

- Surface : 420 km²
- Périmètre : 94 km
- Longueur du bassin versant : 37 km
- Longueur de talweg principal : 47 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.28 ■ Donc on a un bassin allongé
- Densité de drainage : 3.70 km/km² , Réseau hydrographique faiblement développé
- Altitude minimale : 517 m
- Altitude maximale : 1267 m
- Altitude moyenne : 807 m

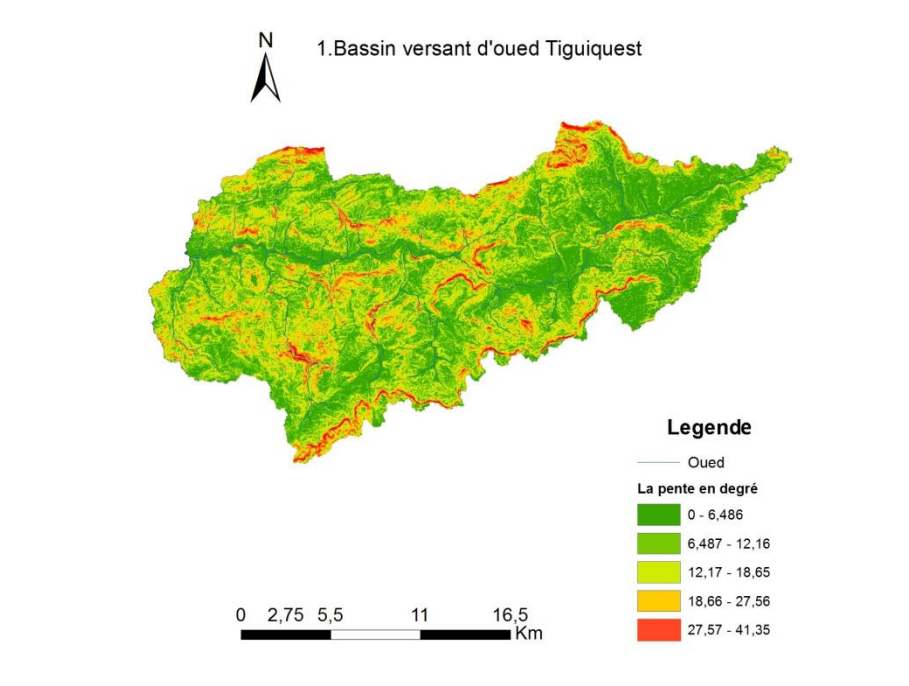


Figure III.23: Carte des pentes du bassin versant d'oued Tiguiquest

3.2. Bassin versant d'Oued Djidiouia

- Surface : 835 km²
- Périmètre : 135 km
- Longueur du bassin versant : 53 km
- Longueur de talweg principal : 51 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.31, Donc on a un bassin allongé
- Densité de drainage : 3.60 km/km², Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 70 m
- Altitude maximale : 925 m
- Altitude moyenne : 467 m

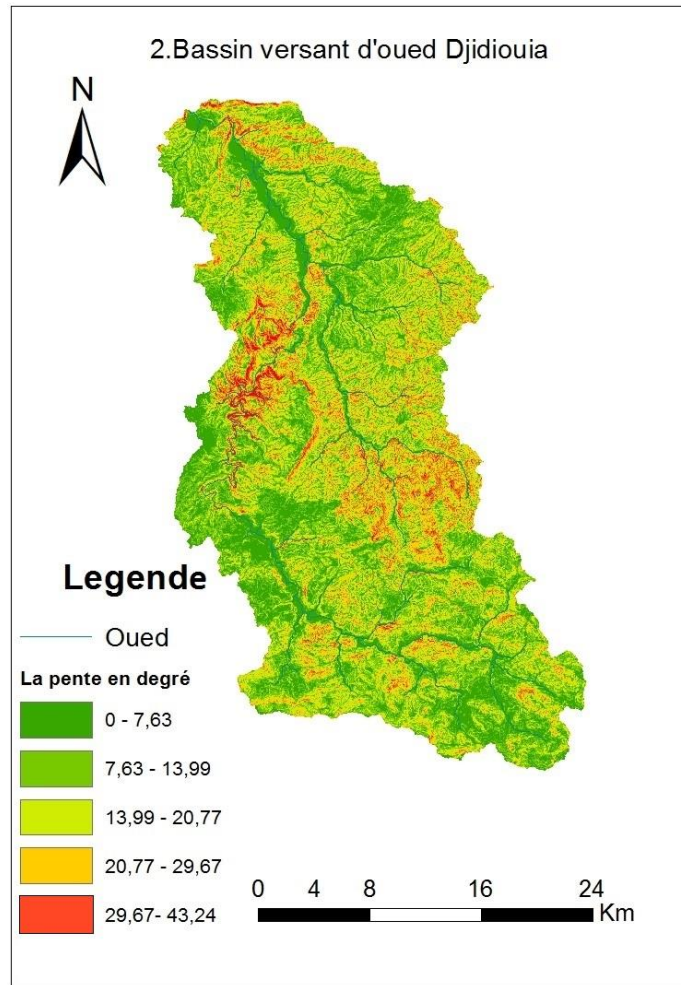


Figure III.24: Carte des pentes du bassin versant d'oued Djidiouia

3.3. Bassin versant d'Oued El Abd

- Surface : 1550 km²
- Périmètre : 162 km
- Longueur du bassin versant : 44 km
- Longueur de talweg principal : 70 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.15 | Donc on a un bassin allongé.
- Densité de drainage : 3.70 k/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 635 m
- Altitude maximale : 1339 m
- Altitude moyenne : 1014 m

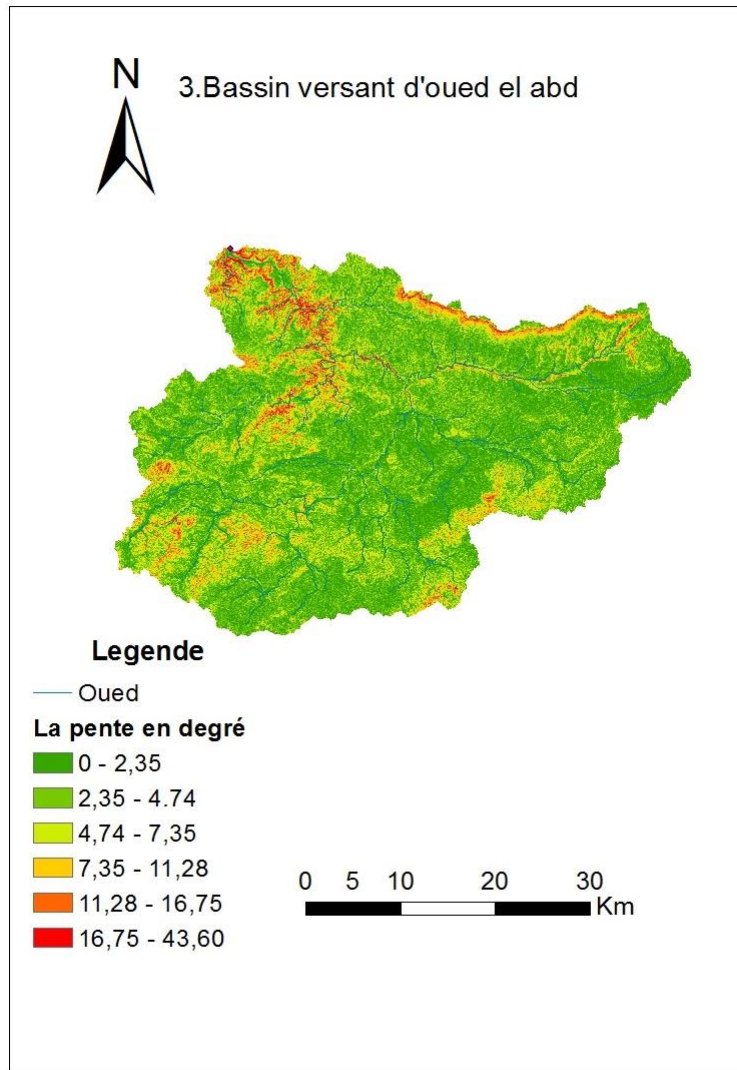


Figure III.25: Carte des pentes du bassin versant d'oued El Abd

3.4. Bassin versant d'Oued_Bellah

- Surface : 54.68 km²
- Périmètre : 38.22 km
- Longueur du bassin versant : 11 km
- Longueur de talweg principal : 16 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.44 Donc on a un bassin allongé.
- Densité de drainage : 3,6 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 8 m

- Altitude maximale : 736 m
- Altitude moyenne : 254 m

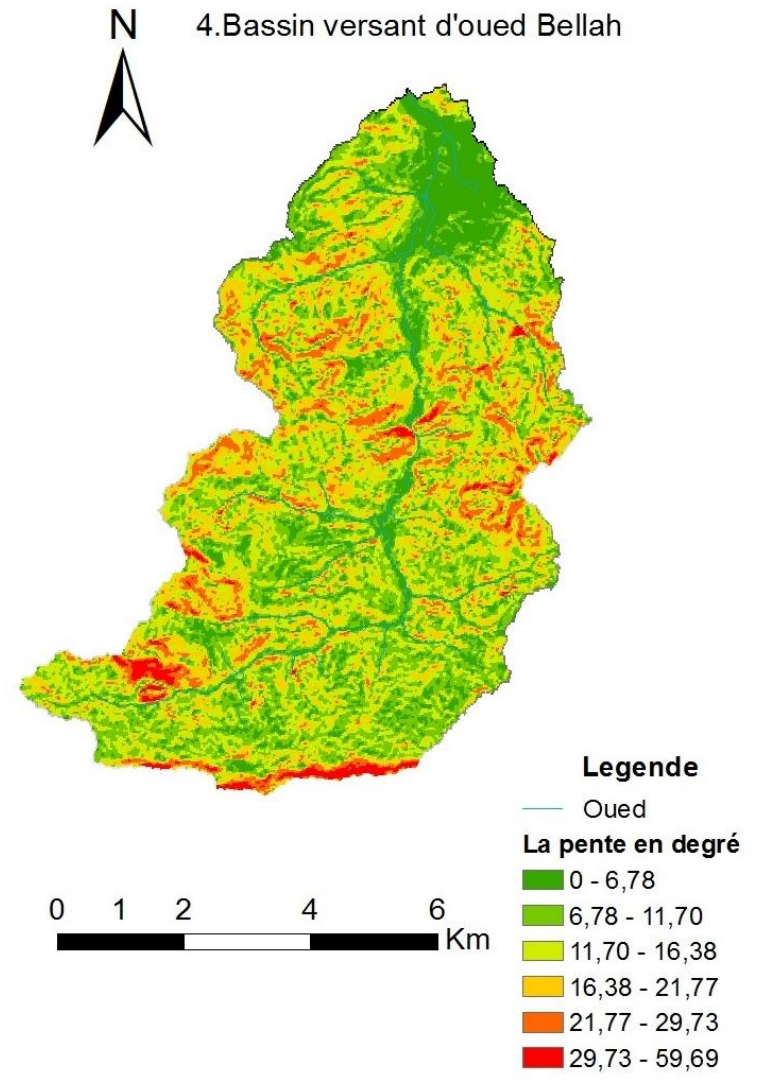


Figure III.26: Carte des pentes du bassin versant d'oued Bellah

3.5. Bassin versant d'Oued El Harrach

- Surface : 387 km²
- Périmètre : 75 km
- Longueur du bassin versant : 22 km
- Longueur de talweg principal : 35 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.06 | Donc on a un bassin de forme circulaire.

- Densité de drainage : 5.20 km/km² ; Réseau hydrographique moyennement développé.
- Altitude minimale : 146 m
- Altitude maximale : 1629 m
- Altitude moyenne : 843 m

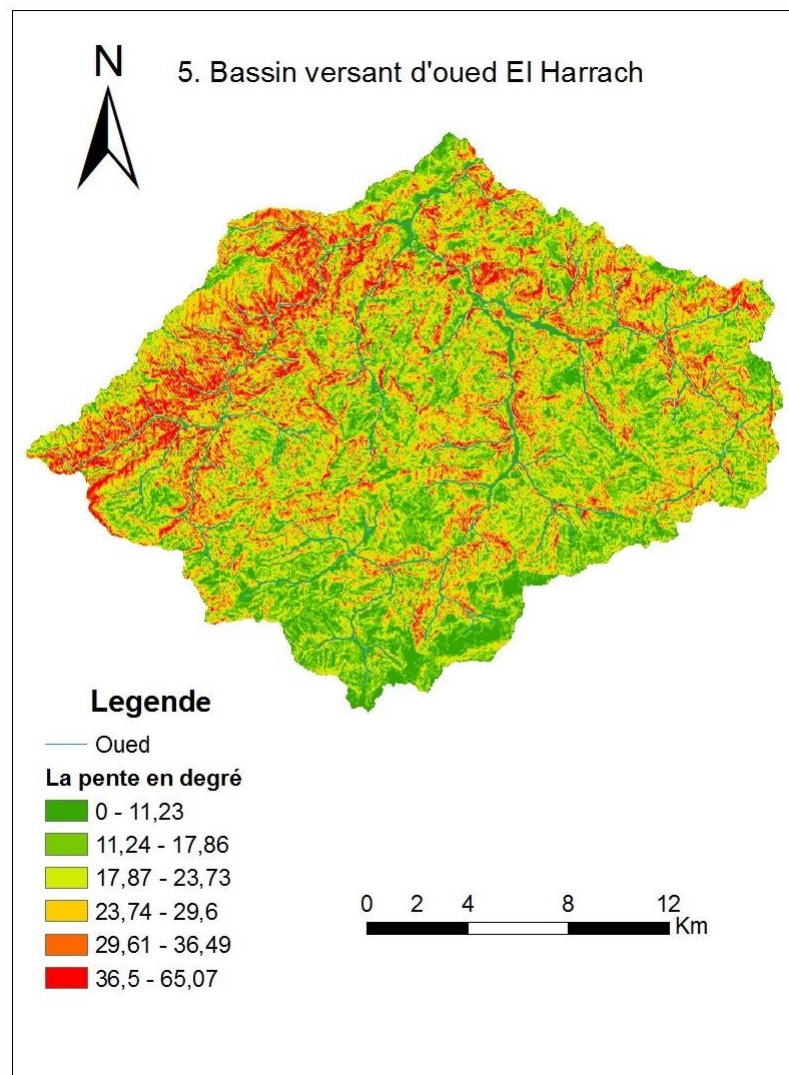


Figure III.27: Carte des pentes du bassin versant d'oued El Harrach

3.6. Bassin versant d'Oued El kantara

- Surface : 19 km²
- Périmètre : 18 km
- Longueur du bassin versant : 6 km

- Longueur de talweg principal : 8 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.19 | Donc on a un bassin de forme allongée.
- Densité de drainage : 5.80 km/km² ; Réseau hydrographique moyennement développé.
- Altitude minimale : 20 m
- Altitude maximale : 563 m
- Altitude moyenne : 167 m

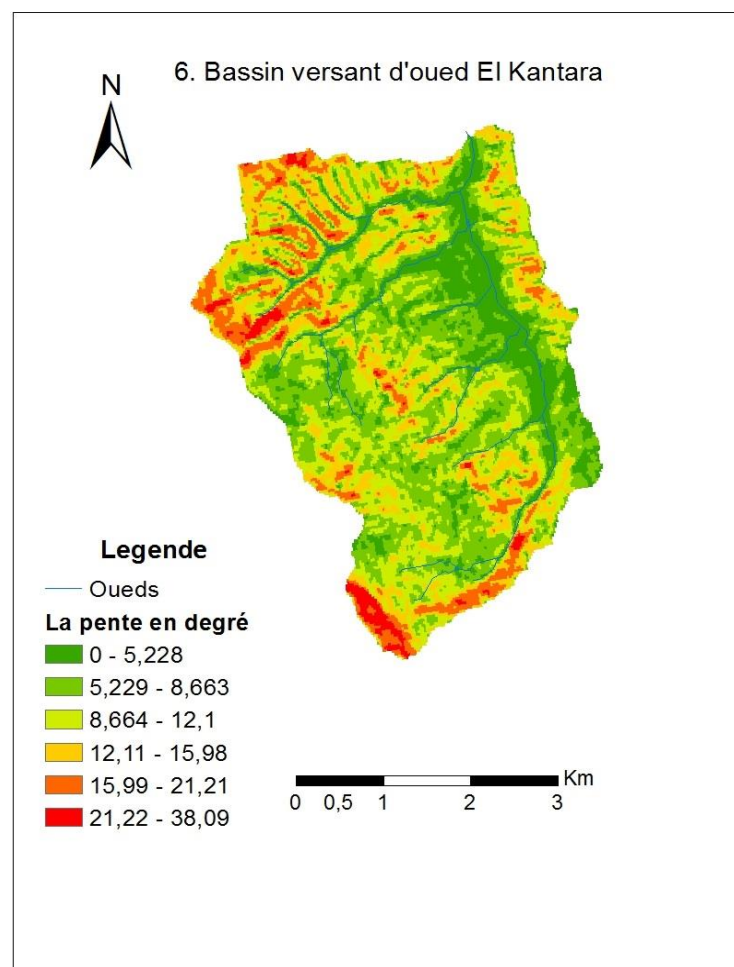


Figure III.28: Carte des pentes du bassin versant d'oued El Kantara

3.7. Bassin versant d'Oued Melah

- Surface : 697 km²

- Périmètre :135 km
- Longueur du bassin versant : 44 km
- Longueur de talweg principal : 60 km
- Coefficient de compacité de Gravelius :1.43 Donc on a un bassin de forme allongée.
- Densité de drainage : 4 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale :30 m
- Altitude maximale :824 m
- Altitude moyenne :320 m

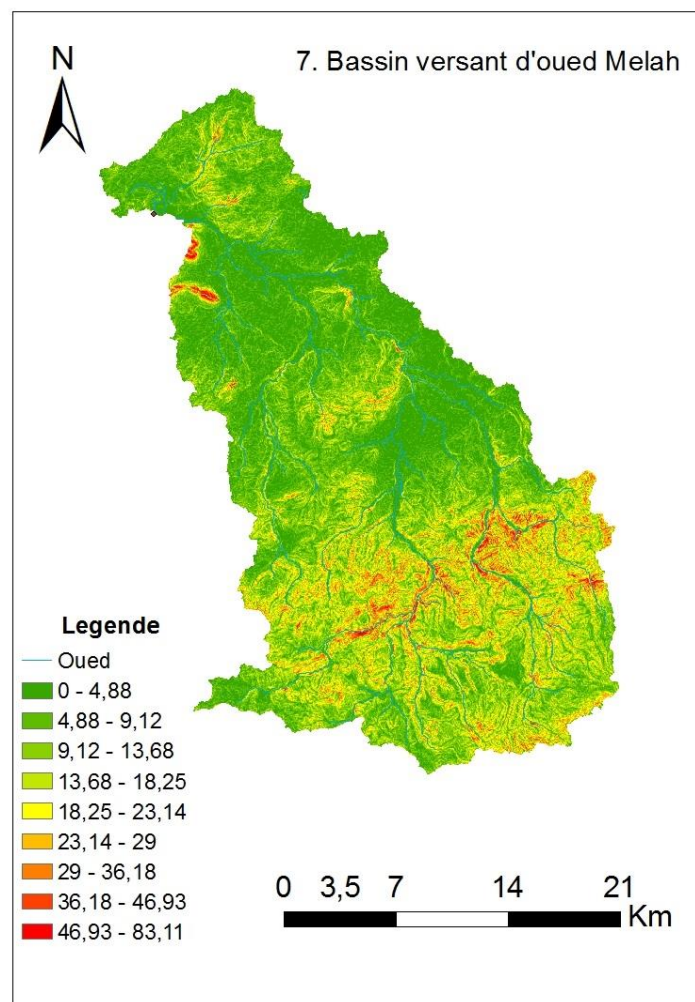


Figure III.29: Carte des pentes du bassin versant d'oued Melah

3.8. Bassin versant d'Oued Taarist

- Surface : 77 km²
- Périmètre : 35 km
- Longueur du bassin versant : 9 km
- Longueur de talweg principal : 12 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.11 Donc on a un bassin allongé
- Densité de drainage : 3.90 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 1185 m
- Altitude maximale : 2326 m
- Altitude moyenne : 1558 m

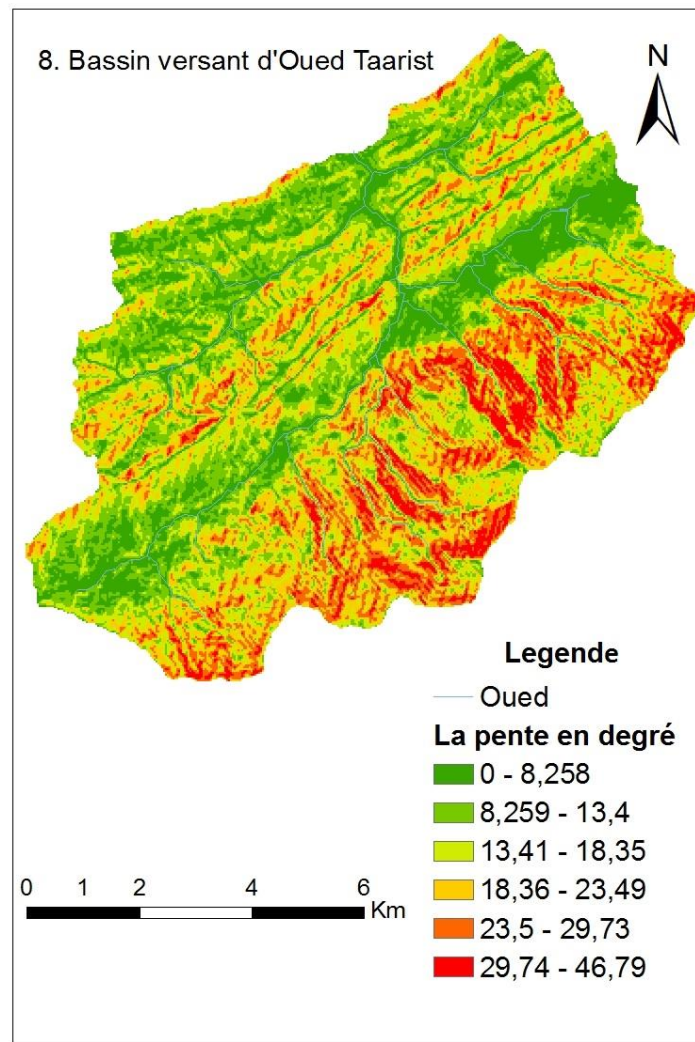


Figure III.30: Carte des pentes du bassin versant d'oued Taarist

3.9. Bassin versant d'Oued Maleh

- Surface : 273 km²
- Périmètre : 71 km
- Longueur du bassin versant : 23 km
- Longueur de talweg principal : 26 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.20 | Donc on a un bassin de forme allongée.
- Densité de drainage : 2.40 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 600 m
- Altitude maximale : 1371 m

- Altitude moyenne : 940 m

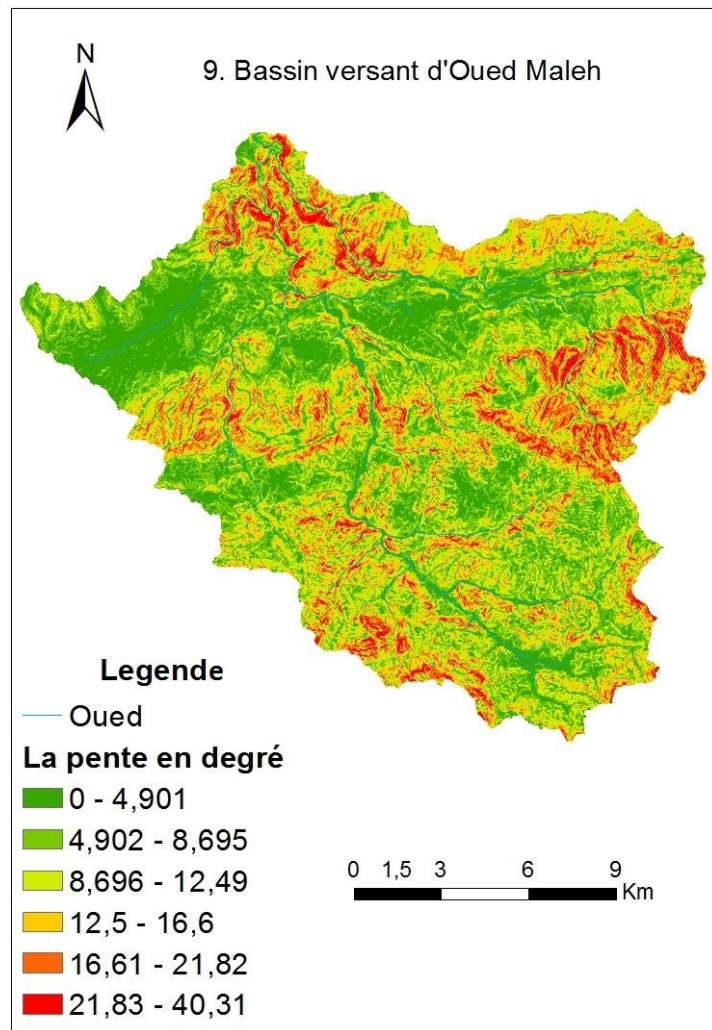


Figure III.31: Carte des altitudes du bassin versant d'oued Maleh

3.10. Bassin versant d'Oued El kebir

- Surface : 960 km²
- Périmètre : 125 km
- Longueur du bassin versant : 47 km
- Longueur de talweg principal : 58 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.15 | On a un bassin de forme allongée
- Densité de drainage : 4.60 km/km² .Réseau hydrographique moyennement développé.
- Altitude minimale : 390 m

- Altitude maximale : 1662 m
- Altitude moyenne : 955 m

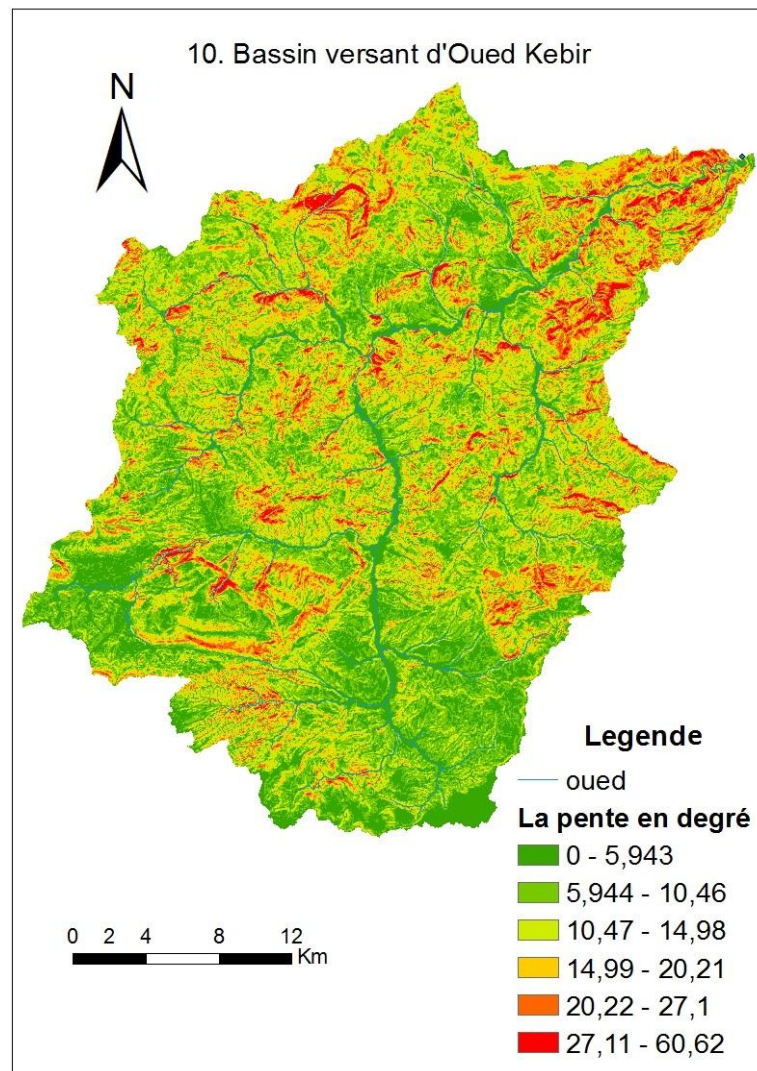


Figure III.32: Carte des pentes du bassin versant d'oued Kebir

3.11. Bassin versant d'Oued Melrir

- Surface : 748 km²
- Périmètre : 111 km
- Longueur du bassin versant : 39 km
- Longueur de talweg principal : 45 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.13 On a un bassin de forme allongée

- Densité de drainage : 4.80 km/km² Réseau hydrographique moyennement développé.
- Altitude minimale : 613 m
- Altitude maximale : 1455 m
- Altitude moyenne : 859 m

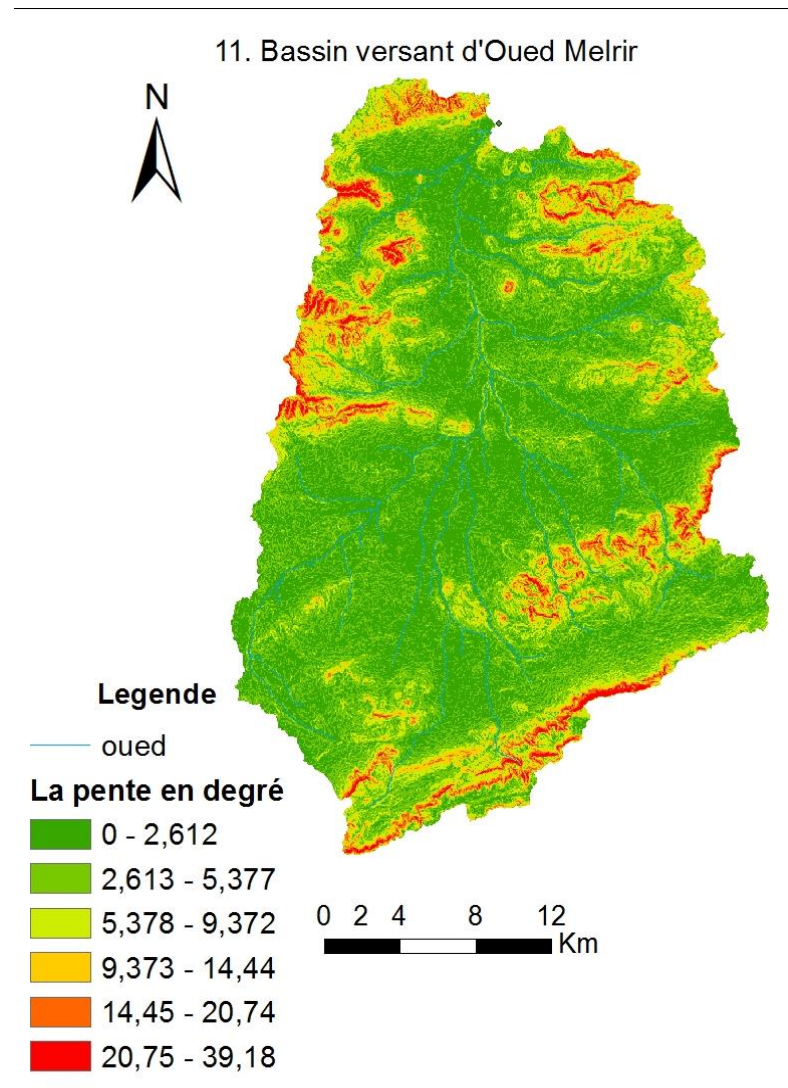


Figure III.33: Carte des pentes du bassin versant d'oued Melrir

3.12. Bassin versant d'Oued Taria

- Surface : 1370 km²
- Périmètre : 225 km
- Longueur du bassin versant : 55 km
- Longueur de talweg principal : 57.7 km

- Coefficient de compacité de Gravelius : 2.15 | On a un bassin de forme allongée
- Densité de drainage : 1.71 km/km². Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 471 m
- Altitude maximale : 1335 m
- Altitude moyenne : 961 m

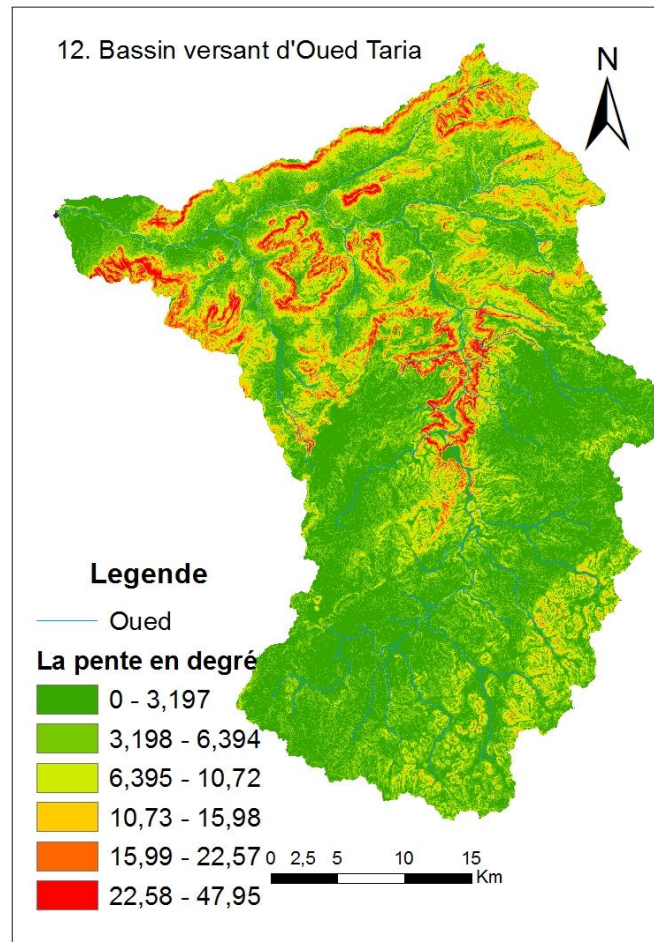


Figure III.34: Carte des pentes du bassin versant d'oued Taria

3.13. Bassin versant d'Oued Zerga

- Surface : 49 km²
- Périmètre : 30 km
- Longueur du bassin versant : 9.50 km
- Longueur de talweg principal : 18.70 km

- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.20 ; On a un bassin de forme allongée
- Densité de drainage : 1.47 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé
- Altitude minimale : 840 m
- Altitude maximale : 1278 m
- Altitude moyenne : 1015 m

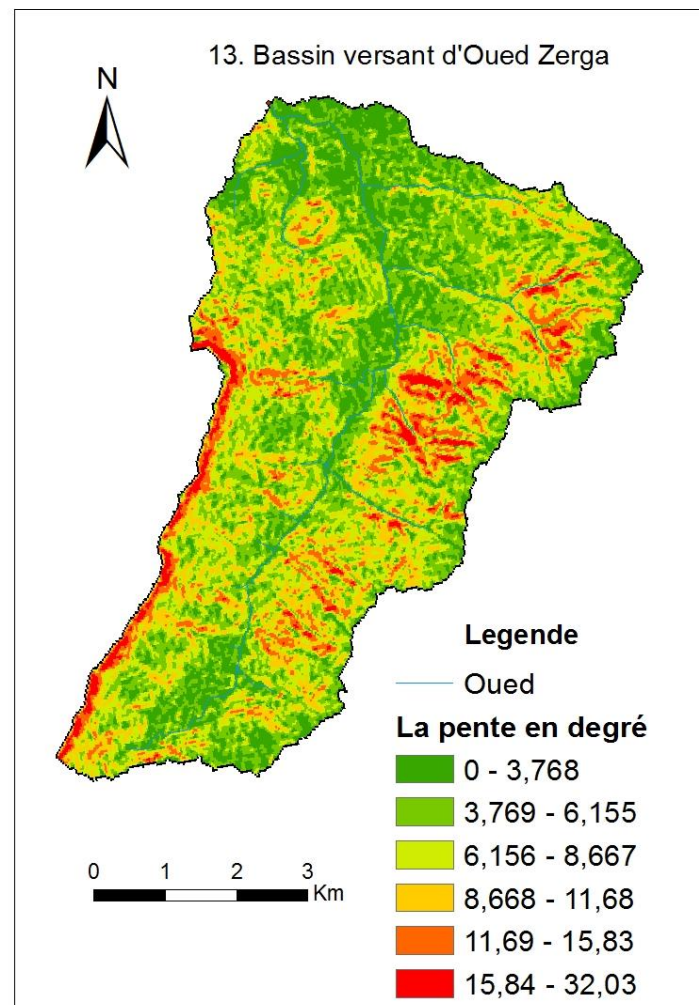


Figure III.35: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Zerga

3.14. Bassin versant d'Oued Ksob

- Surface : 511.5 km²
- Périmètre : 131.5 km

- Longueur du bassin versant : 31 km
- Longueur de talweg principal : 66.2 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.34 ; On a un bassin de forme allongée
- Densité de drainage : 1.75 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 500 m
- Altitude maximale : 1885 m
- Altitude moyenne : 1065 m

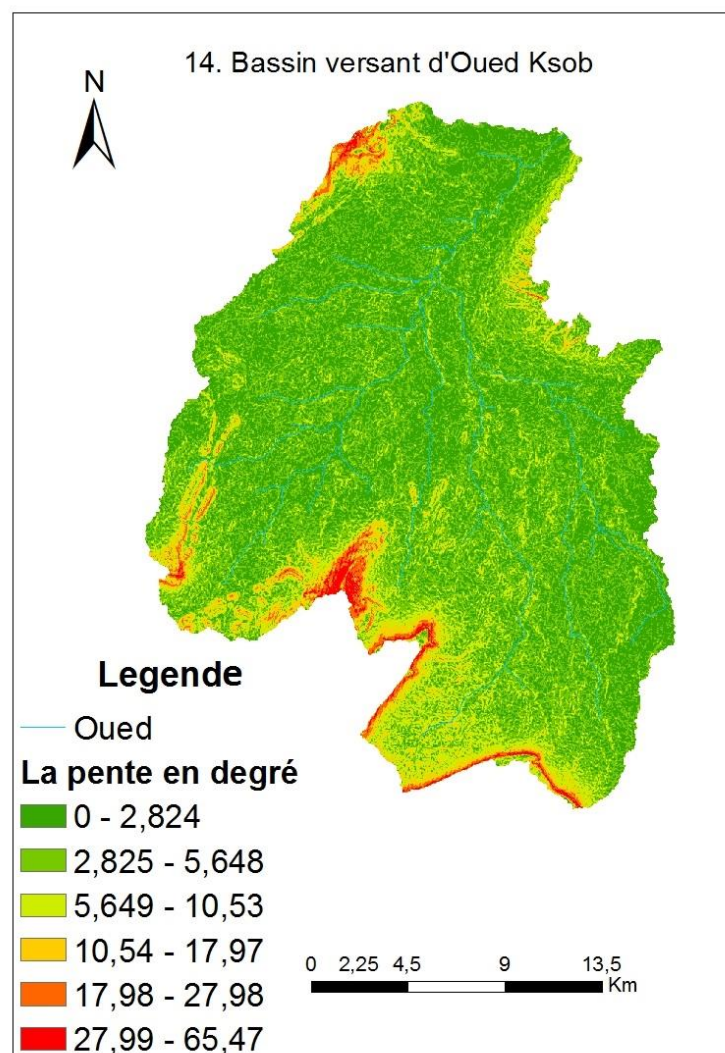


Figure III.36: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Ksob

3.15. Bassin versant d'Oued Ressoul

- Surface : 108.7 km²
- Périmètre : 53 km
- Longueur du bassin versant : 17 km
- Longueur de talweg principal : 24 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.24 | On a un bassin de forme allongée.
- Densité de drainage : 2.80 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 61 m
- Altitude maximale : 917 m
- Altitude moyenne : 305 m

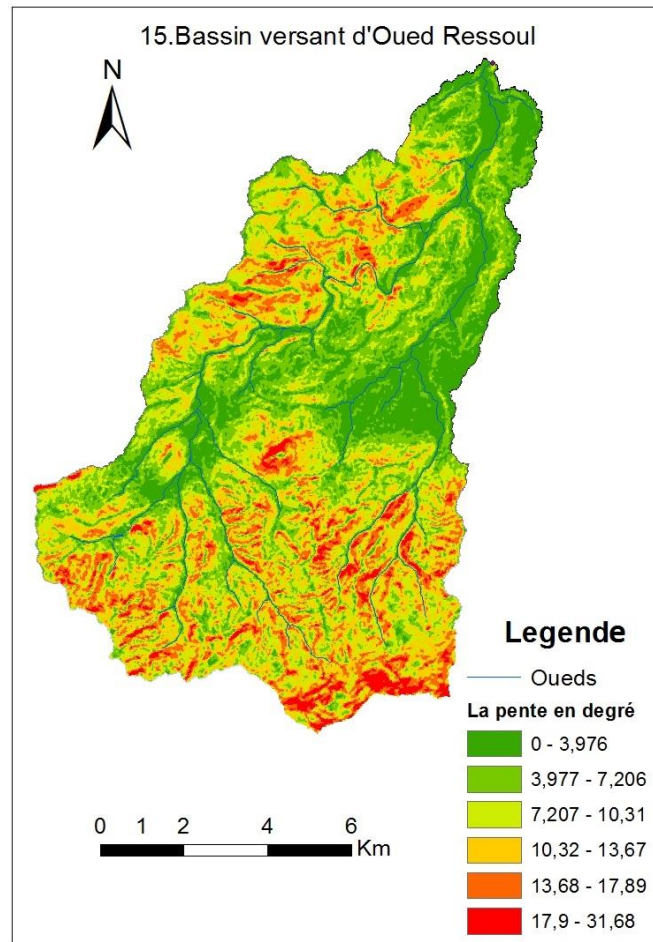


Figure III.37: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Ressoul

3.16. Bassin versant d'Oued Bousselam

- Surface : 2960 km²
- Périmètre : 250 km
- Longueur du bassin versant : 95 km
- Longueur de talweg principal : 144 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.28 | On a un bassin de forme allongée.
- Densité de drainage : 1.06 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 400 m
- Altitude maximale : 1705 m
- Altitude moyenne : 1000 m

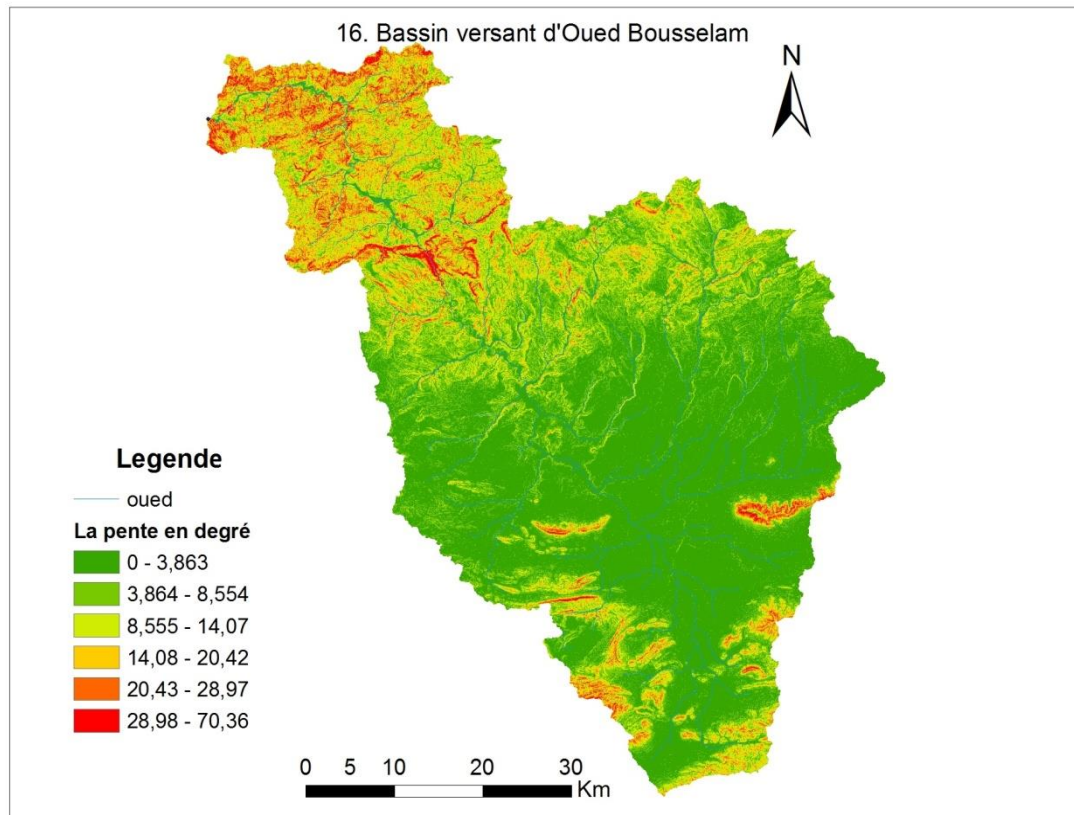


Figure III.38: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Bousselam

3.17. Bassin versant d'Oued Bou-messaoud

- Surface : 116 km²
- Périmètre : 49 km
- Longueur du bassin versant : 19 km
- Longueur de talweg principal : 27 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.27 | On a un bassin de forme allongée
- Densité de drainage : 3.70 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 205 m
- Altitude maximale : 1270 m

- Altitude moyenne : 660 m

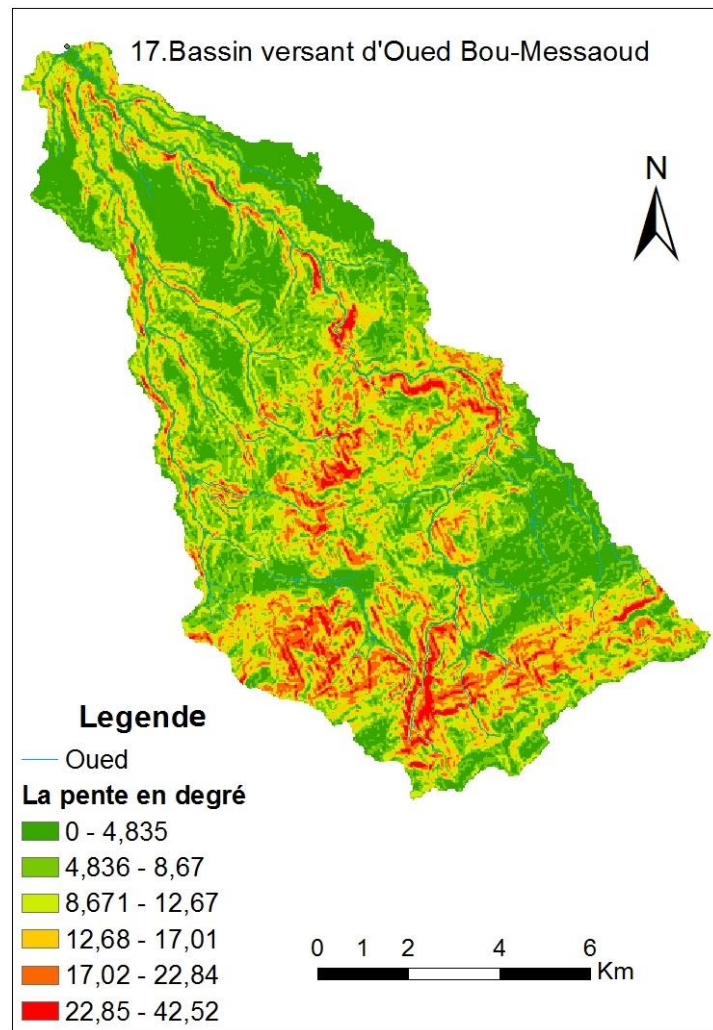


Figure III.39: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Bou-messaoud

3.18. Bassin versant d'Oued Chouly

- Surface : 170 km²
- Périmètre : 60 km
- Longueur du bassin versant : 23 km
- Longueur de talweg principal : 30 km
- Coefficient de compacité de Gravelius : 1.25 | On a un bassin de forme allongée.
- Densité de drainage : 3 km/km² ; Réseau hydrographique faiblement développé.
- Altitude minimale : 725 m
- Altitude maximale : 1616 m

- Altitude moyenne : 1200 m

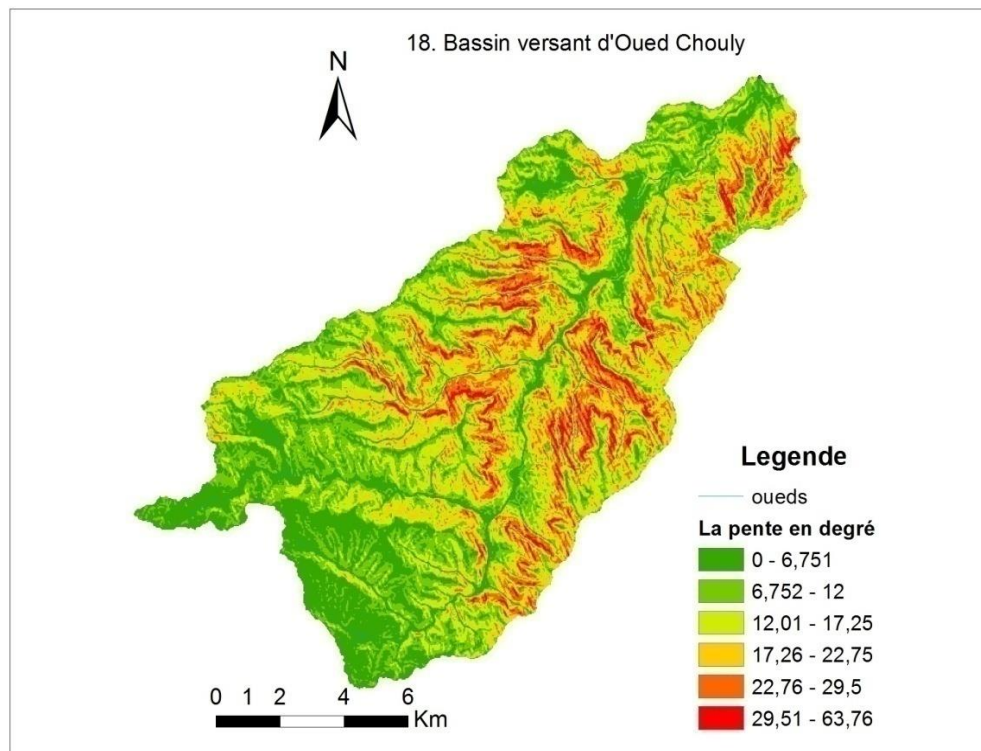


Figure III.40: : Carte des pentes du bassin versant d'oued Chouly

4. Conclusion

Il ressort de l'étude géomorphologique des bassins versants que certains bassins sont situés en zone de moyenne montagne (altitude supérieure à 1000 m) d'autres sont situés en zone de plaine ou hautes plaines.

Le réseau hydrographique est en majorité faiblement développé ; les pentes des versants montagneux sont très variées elles atteignent des fois des valeurs de 80 degrés.

CHAPITRE IV :

**APPLICATION DE L'ANALYSE
HYPSOMETRIQUE ET CALCUL
DES INTEGRALES
HYPSOMETRIQUES**

Chapitre IV :

APPLICATION DE L'ANALYSE HYSOMETRIQUE ET CALCUL DES INTEGRALES HYSOMETRIQUES

1. INTRODUCTION

L'analyse hypsométrique a été utilisée pour différencier les reliefs érosifs à différents stades de leur évolution [23]. L'hypsométrie peut être évaluée par l'analyse de la courbe hypsométrique et de la valeur de l'intégrale hypsométrique. Les formes de la courbe hypsométrique et les valeurs de l'intégrale hypsométrique sont des éléments importants dans l'analyse de la morphologie du relief.

L'intégrale hypsométrique est un indicateur attrayant car il s'agit d'un paramètre sans dimension et, par conséquent, permet de comparer différents bassins versants quelle que soit leur échelle.

Pour réaliser l'analyse hypsométrique de la zone d'étude, on a subdivisé l'étude en deux parties :

- 1 - la première concerne le tracé des courbes hypsométriques des bassins versants en utilisant les surfaces partielles entre les courbes de niveaux et les altitudes dans chaque bassin ,
- 2 - la deuxième partie concerne l'estimation des valeurs des intégrales hypsométriques en utilisant deux méthodes pour déterminer finalement le stade d'érosion de la zone d'étude.

2. MATERIELS ET METHODES :

Afin de mener à bien notre travail , nous avons utilisés les cartes , les logiciels et les données suivantes :

- Les images Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) obtenue de la base des données de l'Institut d'études géologiques des États-Unis (USGS) .Leurs traitement sur ArcMap, a permis d'établir le modèle numérique du terrain (MNT.)

- Logiciel ArcGIS , qui est un logiciel d'information géographique (ou logiciels SIG) développé par la société américaine *Esri* (Environmental Systems Research Institute, Inc.)[32]. à partir duquel nous avons élaboré les cartes d'altitudes et les cartes des pentes.
- Microsoft Excel a été utilisé pour tracer les courbes et estimer les intégrales hypsométriques.

Les courbes hypsométriques des bassins versants étudiés sont réalisées à partir des élévations données par ArcGIS et appliquées sur Excel.

Pour l'estimation des intégrales hypsométriques deux méthodes ont été utilisées : La première méthode est obtenue directement à partir de la courbe hypsométrique ; C'est le rapport de l'aire sous la courbe à l'aire du carré total.

La deuxième méthode est la méthode utilisant la formule de Pike et Wilson.

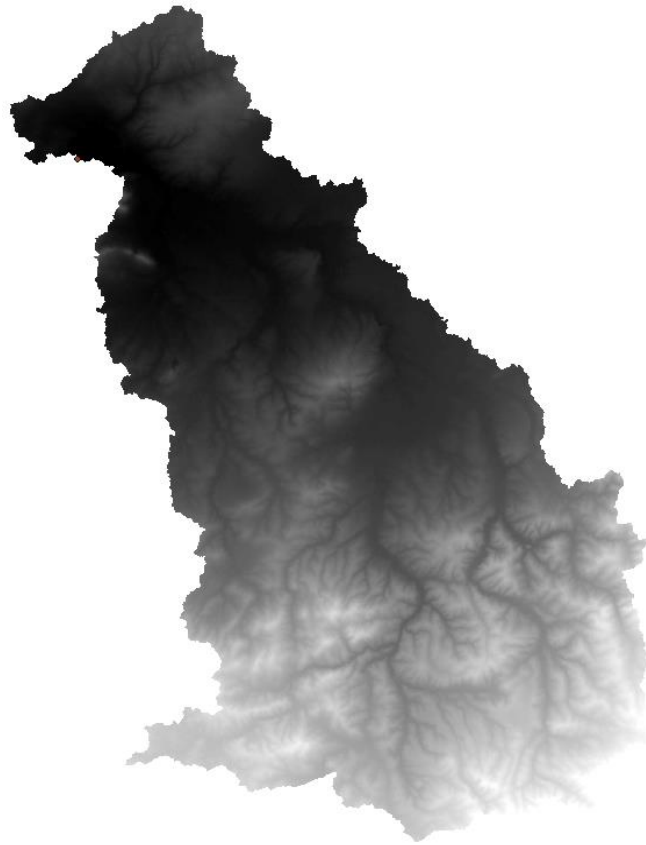


Figure IV.41: Model du SRTM utilisé pour le bassin d'oued Maleh

3. LA COURBE HYSOMETRIQUE

La courbe hypsométrique définit la distribution des altitudes en fonction des surfaces sur une zone de terrain, elle est utilisée pour estimer l'état évolutif des formes de relief. Elle est liée au volume de la masse de sol dans le bassin et à la quantité d'érosion qui s'était produite dans un bassin contre la masse restante [3,14] . Les courbes hypsométriques sont liées à l'évolution géomorphique et tectonique des bassins en termes de leurs agencements et développements [14,24,27]

Une caractéristique utile de la courbe hypsométrique est que les bassins de drainage de différentes tailles peuvent être comparés les uns aux autres car la superficie et l'élévation sont tracées en fonction du total des deux variables. Strahler (1952) a classé trois types de reliefs sur la base des formes de la courbe hypsométrique, désignant les trois stades typiques, (i) jeunes (ii) matures (d'équilibre) et (iii) vieux (Monadnock). Les courbes de forme convexe

sont associées au stade jeune du bassin, indiquent que la zone est légèrement érodée et peu érodée, le stade mature ressemble à des courbes en forme de S concaves vers le haut à des altitudes plus élevées et convexes vers le bas à des altitudes plus basses caractérisées par des régions modérément érodées et anciennes. Le stade Monadnock du bassin est lié aux courbes de forme concave indiquant des paysages fortement érodés et profondément disséqués [3].

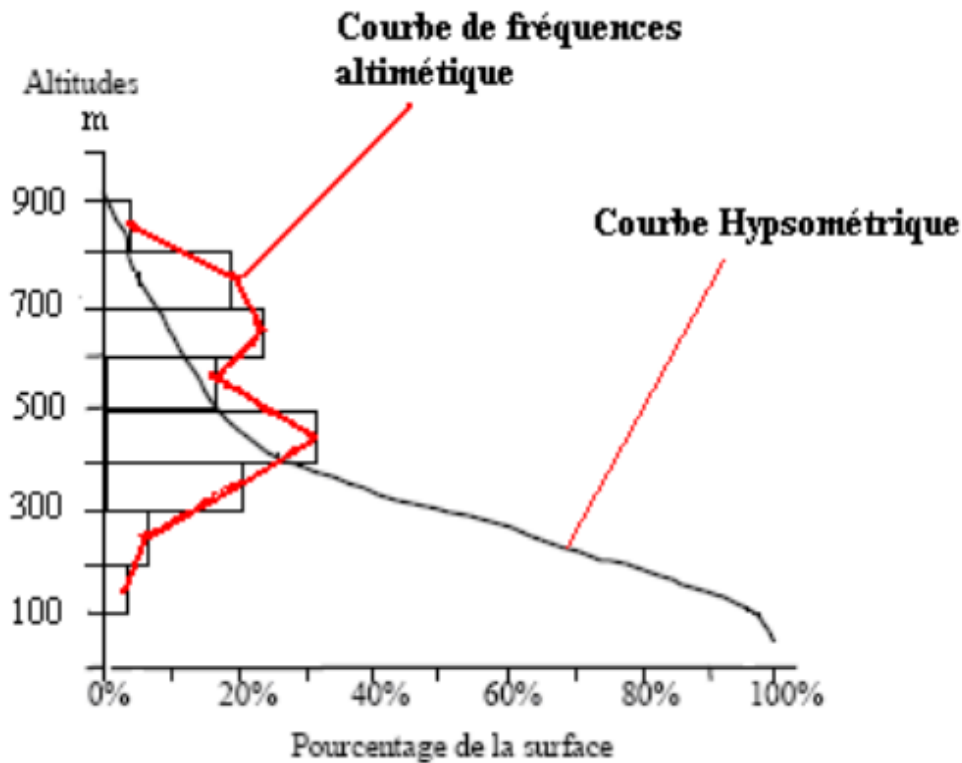


Figure IV.42: La courbe hypsométrique et La courbe de fréquences altimétriques

4. TRACE DES COURBES HYPSONOMETRIQUES

Des courbes hypsométriques ont été tracées pour les 18 bassins versants répartis au nord de l'Algérie (figure IV.2). L'axe Y exprime les altitudes en mètres, L'axe X exprime les surface entre les courbes de niveau cumulées en pourcentage.

Les courbes hypsométriques sont tracées avec des courbes de fréquences altimétriques qui permettent de visualiser le taux (pourcentage) de superficie du bassin situé entre des courbes de niveau successives.

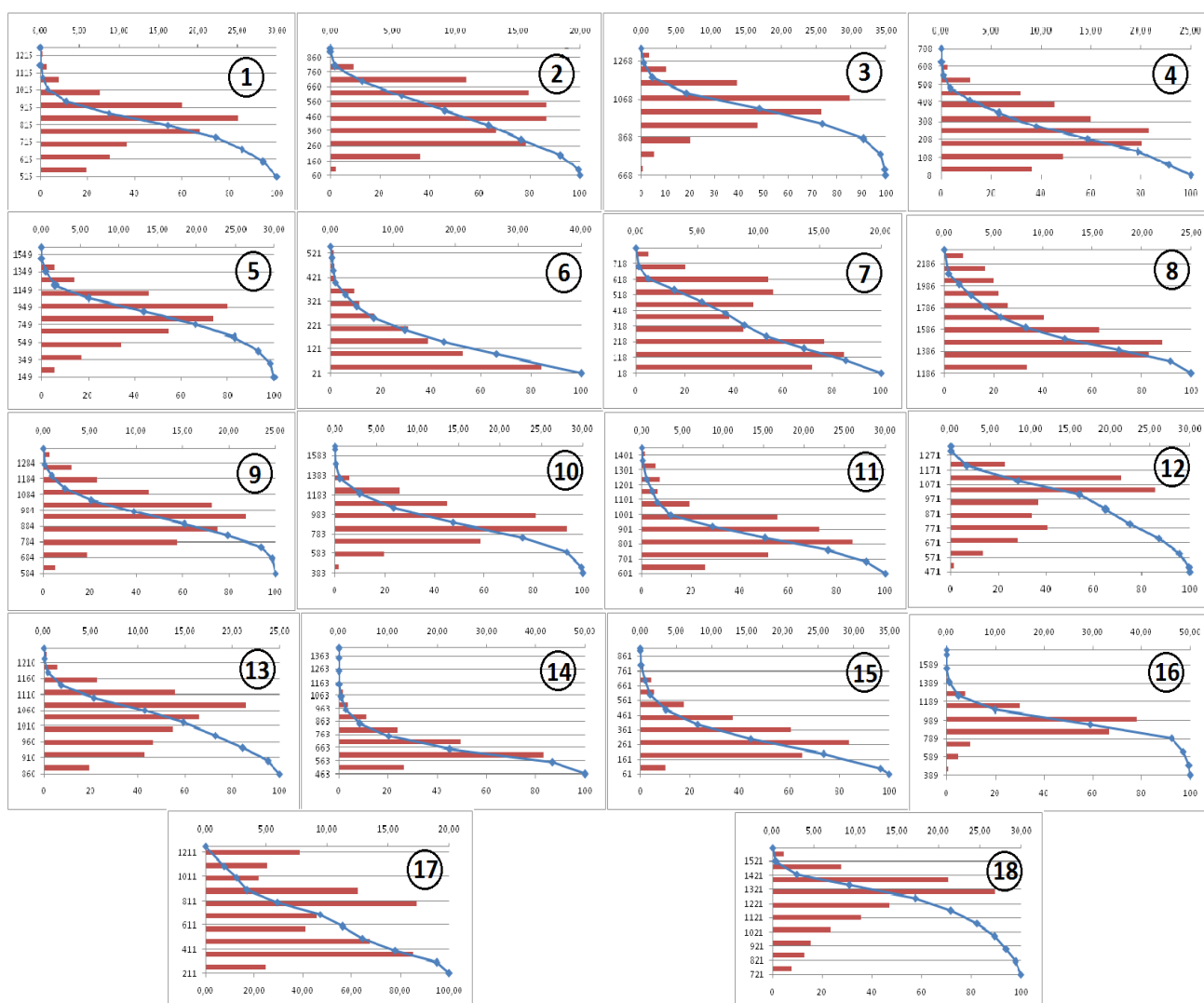


Figure IV.43: Courbes hypsométriques et courbes de fréquences altimétriques des bassins versants.

5. ESTIMATION DES INTEGRALES HYSOMETRIQUES

L'intégration de la courbe hypsométrique, de l'équipement planimétrique et du rapport altitude-relief, la méthode de l'aire sous la courbe par rapport à l'aire totale du carré sont des méthodes largement utilisées par les géographes, les géologues, les ingénieurs et les planificateurs pour estimer l'intégrale hypsométrique. Pour cette étude, deux méthodes sont utilisées :

- La méthode de l'aire sous la courbe : L'intégrale hypsométrique est obtenue à partir de la courbe hypsométrique et équivaut au rapport de l'aire sous la courbe à l'aire du carré entier formé en la recouvrant. Elle est exprimée en unités de pourcentage et est obtenue à partir de la courbe hypsométrique en pourcentage en mesurant l'aire sous la courbe [12].

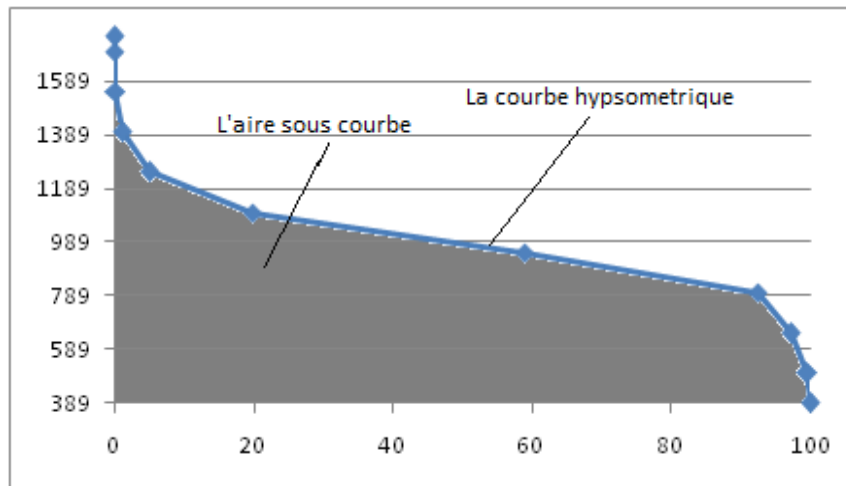


Figure IV.44 : L'aire sous courbe par rapport à l'aire totale

- La méthode du rapport altitude-relief qui a été proposée par Pike et Wilson (1971) sous la forme d'une équation mathématique. Cette équation donne le rapport élévation-relief (E) qui est équivalent à HI et s'exprime comme :

$$HI = \frac{H_{moy} - H_{min}}{H_{max} - H_{min}} \times 100$$

Où :

Hmoy : est l'élévation moyenne du -bassin versant délimité,

Hmin et Hmax : sont les valeurs d'élévation minimale et maximale respectivement dans le bassin versant.

Les valeurs des intégrales hypsométriques obtenues à l'aide des deux méthodes pour les dix-huit bassins versants de la zone d'étude et leurs stades d'érosion sont présentées dans le tableau 1.

Tableau IV.1: . Intégrales hypsométriques des 18 bassins versants et leurs stades d'érosion

Numéro du Bassin	Nom du Bassin	L'Intégrale Hypsométrique		Stade d'érosion	Géologie et Terrains prépondérants
		La méthode graphique	La méthode de Pike et Wilson		
1	Bassin d'Oued Tiguiquest	0,403	0,40	Equilibre	Grès, calcaires
2	Bassin d'Oued Djidiouia	0,46	0,47	Equilibre	Marnes, calcaires
3	Bassin d'Oued el Abd	0,509	0,49	Equilibre	Calcaires, Argiles
4	Bassin d'Oued Bellah	0,337	0,34	Equilibre	Calcaires , alluvions
5	Bassin d'Oued El Harrach	0,477	0,47	Equilibre	Grès , calcaires,shistes
6	Bassin d'Oued El Kantara	0,266	0,26	Monadnock	marnes, argiles
7	Bassin d'Oued Melah	0,371	0,37	Equilibre	Calcaires, marnes,
8	Bassin d'Oued Taarist	0,329	0,325	Equilibre	Grès, schistes
9	Bassin d'Oued El Maleh	0,444	0,45	Equilibre	Dolomies, calcaires
10	Bassin d'Oued El Kebir	0,407	0,401	Equilibre	Conglomérats, calcaires
11	Bassin d'Oued Melrir	0,311	0,303	Equilibre	Calcaires, aluvions
12	Bassin d'Oued Taria	0,561	0,567	Equilibre	Argiles, calcaires
13	Bassin d'Oued Zerga	0,433	0,44	Equilibre	Marnes géseuses
14	Bassin d'Oued K'sob	0,203	0,21	Monadnock	Marnes, marno-calcaires
15	Bassin d'Oued Ressoul	0,276	0,285	Monadnock	Alluvions, grès, marnes
16	Bassin d'Oued Bousselam	0,429	0,437	Equilibre	Argiles, calcaires
17	Bassin d'Oued Boumessaoud	0,422	0,43	Equilibre	Dolomies, calcaires
18	Bassin d'Oued Chouly	0,598	0,59	Equilibre	Argiles, calcaires

Les valeurs obtenues de l'intégrale hypsométrique permettent de classer les bassins versants selon leur stades d'érosion en utilisant la classification de Strahler :

$HI > 0.60$: Stade jeune ou non équilibre

HI Entre 0.30 et 0.60 : Stade d'équilibre ou Mature

$HI < 0.30$: Stade de Vieillesse ou Monadnock

D'après le tableau ci-dessus (tableau IV.1) , les 2 méthodes de calcul de l'intégrale hypsométrique (avec Pike et Wilson et graphiquement) donnent des résultats proches l'un de l'autre.

6. ANALYSE DES RESULTATS ET DISCUSSION :

L'analyse hypsométrique est un outil important pour évaluer et comparer l'évolution géomorphique de diverses formes de relief quel que soit le facteur qui peut en être responsable. Les principaux facteurs qui régissent l'évolution du paysage sont la tectonique et / ou le climat et la variation de la lithologie.

L'analyse hypsométrique a été appliquée à dix-huit bassins versants situés au nord d'Algérie, ce qui nous a permis de tracer 18 courbes hypsométriques et courbes de fréquences altimétriques et de calculer les intégrales hypsométriques (voire figure IV.3 et tableau IV.1) .L'analyse de ces courbes et les valeurs des intégrales hypsométriques nous permettra de déterminer le stade géomorphique et le potentiel d'érosion de chaque bassin.

6.1 ANALYSE DES COURBES HYPSONOMETRIQUES

Ritter (2002) affirme que la forme de la courbe hypsométrique représente le degré de dissection. d'un bassin au cours de sa vie.

Les coordonnées des courbes hypsométriques des dix-huit bassins versants du nord d'Algérie obtenues ont été tracées et présentées à la figure IV.3.

En analysant l'allure et la forme des courbes hypsométriques on s'aperçoit que les courbes N° : 1- (Tiguigest) ,2- (Djidiouia) 3- (oued el Abd); 5- (oued el harrach) 8- (oued taarist)

9 – (oued el maleh) ; 10 - (oued el kebir) 11- (oued Melrir) 13- (oued Zerga) 16 - (oued Bousselam) présentent une forme en S bien individualisée correspondant à un stade d'équilibre ou mature , ou les bassins ont subi une érosion appréciable au cours du temps , et continuent à être érodé mais de façon moins rapide. Les facteurs de l'érosion étant le ruissellement et l'écoulement de surface et aussi les mouvements tectoniques de l'écorce terrestre.

Les bassins N° 4- (Oued Bellah) et 7 - (Oued Mellah) présentent des courbes assez particulières moins prononcées en stade d'équilibre mais se rapprochant plutôt du stade de vieillesse (Forme concave) avec $HI = 0.34$ et 0.37 ; ces bassins ont subi une érosion très grande et sont proches du stade de vieillesse avec une érosion très faible dans le futur.

Pour les bassins 12 (oued Taria) et 18 (Oued Chouly) les courbes hypsométriques ont une forme de S mais presque convexes $HI = 0.56$ et 0.59 , leurs stade géomorphique est proche du stade jeune , par conséquent ces bassins sont sujet à une forte érosion , elle sera importante durant les décennies à venir.

Les bassins 6 (oued el Kantara) , 14 (oued Ksob) et 15 (oued Ressoul) , présentent une courbe hypsométrique de forme concave qui correspond au stade de vieillesse (Monadnock).

Le stade Monadnock est la dernier stade géomorphique d'un bassin versant, il exprime le vieillissement du bassin et que ce bassin a subi une érosion active et s'est transformé en bassin plat et bas-relief.

6.2 ANALYSE DES INTEGRALES HYPSONOMETRIQUES

L'intégrale hypsométrique est obtenue à partir de la courbe hypsométrique et équivaut au rapport de l'aire sous la courbe à l'aire du carré entier formé .

L'Intégrale hypsométrique peut être exprimée en pourcentage ou bien présentée variant de zéro à un. Une valeur élevée représente le stade jeune et une valeur faible représente le stade ancien ou de vieillesse. Le stade jeune du paysage a plus tendance à l'érosion du sol que le stade mature du paysage. L'intégrale hypsométrique décrit la probabilité d'érosion de tout bassin versant en termes d'âge du paysage qui a eu lieu dans le bassin versant depuis son évolution en raison de phénomènes hydrologiques, de facteurs de dégradation des terres et tectoniques. [12]

On observe à partir du (tableau IV.1) que les valeurs des intégrales hypsométriques pour les dix-huit bassins versants varient entre 0.21 (Bassin versant d'oued Ksob) et 0.59 (Bassin versant d'oued Chouly), ce qui confirme qu'il y a deux stades d'érosion dans la zone d'étude : un stade dominant qui est le stade d'équilibre ou mature ($0.3 < HI < 0.6$) et le stade monadnock ou stade de vieillesse ($HI < 0.3$) qui est représenté par trois bassins : le Bassin d'oued El- kantara , Bassin d'oued Ksob et Bassin d'oued Ressoul.

La comparaison des valeurs d'intégrales hypsométrique des bassins versants a montré que le Bassin d'oued Chouly avec la valeur relative la plus élevée ($HI=0.59$) était plus sensible à l'érosion que le reste des bassins versants, bien qu'il soit à l'intervalle du stade d'équilibre.

D'autre part la valeur de l'intégrale hypsométrique la plus basse correspond au Bassin de l'oued Ksob ($HI = 0.21$) qui a atteint le stade de vieillesse donc ce bassin est entièrement stabilisé géologiquement avec un potentiel faible d'érosion.

Les valeurs des intégrales hypsométriques des bassins versants : 6 (oued el Kantara $HI = 0,26$), 14 (oued Ksob $HI = 0,21$) et 15 (oued Ressoul $HI = 0,27$) indiquent que 26%, 21% et 27% des masses de sol initiales existent toujours dans ces bassins. Ces bassins sont clairement de faible pentes avec une topographie plate se qui confirme qu'ils ont atteint la forme de pénéplaine.

Par contre les autres bassins qui ont atteint le stade mature ont des pentes élevées par rapport aux trois vieux bassins ; ceci indique que ces bassins versants continueront à être érodés progressivement jusqu'à atteindre le stade de vieillesse.

Ils possèdent un taux d'érosion lent, à moins qu'il n'y ait des phénomènes météorologiques très extrêmes comme des tempêtes et de fortes pluies provoquant des pics de ruissellement élevés.

La pente des versants joue un rôle très important vis-à-vis du phénomène d'érosion . Son inclinaison influe considérablement sur la vitesse de ruissellement, qui accélère à son tour le processus du transport sédimentaire. Ce dernier accentue la force d'arrachement des particules et augmente ainsi l'effet de dégradation du sol.

Du point de vue géologique ; les sous bassins avec des terrains marneux , argileux et alluvionnaires ont une grande potentialité a l'érosion hydrique et cela est représenté dans le (tableau IV.1) qui montre que les 3 bassins de stade monadnock (oued El kantara ,oued Ksob et oued Ressoul)ont des terrains prépondérant constitués par des marnes , argiles et alluvions , ces terrains sont facilement érodables car ce sont des couches tendres. Contrairement, les formations géologiques formant les terrains prépondérants des autres bassins sont constituées généralement en grès calcaire et pour quelques bassins par dolomies et schistes ; ces formations sont connues pour leur résistance a l'érosion hydrique .

D'un point de vue pratique lorsque on est situé dans une région avec des bassins versants au stade jeunes et au stades mature il faut prévoir des moyens de lutte contre l'érosion hydrique tel que les banquettes anti érosion , implantation d'arbres etc... ; car ces bassins sont très susceptibles à l'érosion .

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE :

L'analyse hypsométrique exprime la complexité des processus de dénudation et le rythme des changements morphologiques au niveau du bassin versant, d'où l'utilité de comprendre l'état d'érosion des bassins versants et de les hiérarchiser dans le but d'entreprendre des mesures de conservation des sols.

Notre étude concerne dix huit bassins versants situés dans le nord Algérien, l'étude de leur climat montre qu'il varie du type méditerranéen au type semi aride. L'étude géomorphologique montre que certains bassins sont situés en zone de moyenne montagne (altitude supérieure à 1000 m) d'autres sont situés en zone de plaine ou hautes plaines. Les pentes des versants montagneux présentent des valeurs très variées ; elles atteignent des fois des valeurs de 80 degrés ce qui l'un des principale cause du phénomène d'érosion hydrique, le réseau hydrographique est en majorité faiblement développé. L'analyse hypsométrique appliquée à notre région d'étude montre que les courbes hypsométriques obtenues sont majoritairement en forme de « S » indiquant la maturité ou le stade d'équilibre des bassins, à l'exception de trois bassins versants qui présentent des courbes de forme concave correspondantes au stade de vieillesse des bassins . Deux bassins sont proches du stade de jeunesse et leurs courbes présentent une forme convexe (bassin versant d'oued Chouly et bassin versant d'oued Taria).

L'estimation des valeurs des intégrales hypsométriques par les 2 méthodes de calcul montre que ces valeurs varient de 0.21 (Bassin versant d'oued Ksob) à 0.59 (Bassin versant d'oued Chouly). Ces valeurs indiquent que quinze bassins sont au stade d'équilibre, tandis que trois bassins ont atteint le stade de vieillesse (Monadnock), il s'agit des bassins de l'oued El Kantara , de l'oued Ksob et de l'oued Ressoul . Ces bassins sont presque entièrement stabilisés géologiquement avec un potentiel faible d'érosion.

Les bassins versants de l'oued chouly et de l'oued Taria sont les plus susceptibles a l'érosion par rapport au autres bassins a cause de leurs intégrales hypsométrique élevées 0.59 et 0.56 respectivement, par conséquent il est nécessaire de construire des structures de conservation du sol afin de protéger ces bassins versants de l'érosion hydrique. Il en est de même pour les bassins qui présentent un stade d'équilibre , ils nécessitent aussi une attention en entreprenant des aménagement de conservation des sols tels- que les banquettes anti -érosion et le reboisement des versants montagneux.

Références bibliographiques :

- [1] Abdi, O. A. S. (2017). Etude des paramètres morphométriques et hydrographiques du bassin versant de l'oued Taria, These de master, Univ. Saida.
- [2] Agence Nationale de Developpement des Investissements. Wilaya of batna [Internet]. [cité 2020 sept 3];Available from: <http://www.andi.dz/index.php/en/monographie-des-wilayas?id=101>
- [3] Ahmed F.(2016), Hypsometric analysis of the Tuirini drainage basin: A Geographic Information System approach. *International journal of geomatic and geosciences*; 6:1685 - 1695.
- [4] Asnouni, F. (2014). *Etude du transport solide en suspension dans le Bassin Versant d'oued Al Abd* ;These, Univ. Tlemcen.
- [5] Belaroui A., Haouchine Z.,(2017), Modélisation Hydrologique du bassin versant d'oued El Harrach amont à l'aide des modèles globaux (pluie-débit) . El Hammamet, Tunisie.
- [6] Bouanani, A. (2004). *Hydrlogie, transport solide et modélisation, étude de quelques sous bassins de la Tafna (NW – Algérie)*,These de master, Univ Tlemcen.
- [7] Boulgueraguer Z., Chaffai H., Lakkaichi A.,(2014), Contribution à la gestion intégrée des ressources en eau dans le sous bassin versant amont de l'oued Bousselam, Nord-est Algérien, *Journal International et Technique de l'eau et de l'Environnement* .,P.31
- [8] Cheliff, pour mieux informer. Villes et villages - Cheliff, pour mieux informer [Site web]. consulté le 3 sept 2020 ,Available from: <http://cheliff.org/portail/?q=glossary/5>
- [9] Drias, Tarek. (2013). Hydrogéologie du bassin versant de l'oued Ksob (Tebessa) ; Vulnérabilité et protection de la ressource.. 10.13140/RG.2.2.18147.71205.
- [10] Elahcene O, Terfous A, Remini B, Ghenaim A, Poulet J-B,(2013) , Study of sediment dynamics in the Wadi Bellah watershed (Algeria). *Hydrological Sciences Journal*.;58(1):224 - 236.
- [11] Farhan Y, Mousa R, Dagarah A, Shtaya D.,(2016), Regional Hypsometric Analysis of the Jordan Rift Drainage Basins (Jordan) Using Geographic Information System. *Open Journal of Geology*.;06:1312 - 1343.
- [12] Gajbhiye S, Mishra SK, Pandey A., (2014), Hypsometric analysis of Shakkar river catchment through geographical information system, *J Geol Soc India* .;84(2):192 - 196.
- [13] Hadjiat K. (1997). Etat de dégradation des sols en Algérie (*Rapport d'expert PNAE*)*Banque Mondiale*

- [14] Hurtrez J-E, Sol C, Lucazeau F., (1999), Effect of drainage area on hypsometry from an analysis of small-scale drainage basins in the Siwalik Hills (Central Nepal). *Earth Surface Processes and Landforms.*;24(9):799-808.
- [15] Kaddour, N. E. H. (2018). Caractérisation, classification et statistique multivariablades eaux du bassin versant de l'oued El-Malah (N-w Algérien) . *these de master*, Univ de Tlemcen
- [16] Martínez-Ramírez Á, Steinich B, Tuxpan J., (2017), Morphometric and hypsometric analysis in the Tierra Nueva Basin, San Luis Potosí, México. *Environ Earth Sci.*;76(12):444.
- [17] Meddi M, Talia A, Martin C., (2009), Évolution récente des conditions climatiques et des écoulements sur le bassin versant de la Macta (Nord-Ouest de l'Algérie). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement.*;(Volume 3):61-84.
- [18] Météo et climat : Médéa (Algérie) - Quand partir à Médéa ? [site web]. Consulté le 3 septembre 2020;Available from: https://planificateur.a-contresens.net/afrique/algerie/wilaya_de_medea/medea/2488835.html?fbclid=IwAR3uzTOe9RuR5zX0elHI2PlX6oNj3qgFCsimbpa5I58qKep3-P_AyZuQtOA
- [19] Ministère de l'environnement et l'aménagement du territoire,(2000), *Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement*.
- [20] Pike RJ, Wilson SE.,(1971), Elevation-relief ratio, hypsometric integral, and geomorphic area-altitude analysis. *Bulletin of the Geological Society of America.*;82(4):1079-1084.
- [21] Probst JL, Suchet PA., (1992), Fluvial suspended sediment transport and mechanical erosion in the Maghreb (North Africa). *Hydrological Sciences Journal.*;37(6):621-637.
- [22] Remini, W.; Remini, B. (2003). La sédimentation dans les barrages de l'afrique du nord, *Larhyss Journal*, 4, 45-54.
- [23] Sara, Z. (2016). *Etude de la sensibilité du sous bassin versant de Ksob a l'érosion hydrique par une approche quantitative* These de master, Université Mohamed Boudiaf Msila, Faculté de technologie.
- [24] Schumm SA., (1956), Evolution of drainage systems ans slops in badlands at Perth Amboy, New- Jezey. *GSA Bulletin.*;67(5):597-646.
- [25] Singh O, Sarangi A, Sharma MC.,(2008), Hypsometric integral estimation methods and its relevance on erosion status of north-western lesser himalayan watersheds. *Water Resour Manage.*;22(11):1545-1560.

- [26] Souadi, Y.; Roche, Y. (2011). L'érosion hydrique au Maghreb, étude d'un cas: le bassin versant de l'oued Barbara (Tunisie septentrionale), These, Université du Québec à Montréal, Montréal
- [27] Strahler AN.,(1952), Hypsometric(area-altitude) analysis of erosionnal topography. *GSA Bulletin.*;63(11):1117-1142.
- [28] Strahler AN.,(1952b), DYNAMIC BASIS OF GEOMORPHOLOGY. *GSA Bulletin.*;63(9):923-938.
- [29] Touaibia, B. (n.d.), (2006), Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences et Perspectives, *14th International Soil Conservation Organization Conference, Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, (ISCO 2006).*
- [30] Weissel JK, Pratson LF, Malinverno A.,(1994), The length-scaling properties of topography. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth.*;99(B7):13997-14012.
- [31] Wikipedia. El Milia ,site web, Consulté le 2020 août 14;Available from: https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=El_Milia&oldid=173823072
- [32] Wikipedia. ArcGIS site web, Consulté le 2020 nov 4;Available from: <https://fr.wikipedia.org/w/index.php?title=ArcGIS&oldid=164193950>