



Contents lists available at www.iusrj.org
 International Uni-Scientific Research Journal
 Journal homepage: www.iusrj.org



History and Geography.

Morphometric and hydrographic study of the Oued Msoune watershed

Etude morphométrique et hydrographique du bassin versant de l'Oued Msoune

Fouad En-nahli and Abdelkhalek Ghazi

Article Info

Article history:

Received: 1st May 2024

Accepted: 11th May 2024

doi:202405011203

Available

Vol. 5 (2) 04-13

18th May 2024

Keywords:

Morphometric analysis, watershed, GIS (Geographic Information System), Hydrodynamics, Dendritic Analyse morphométrique, bassin versant, SIG (Système d'Information Géographique),

Hydrodynamique, Dendritique

Abstract

Morphometric analysis involves a quantitative description and analysis of form characteristics as practiced in geomorphology and applied to watershed areas. This study incorporates linear, areal, and topographic morphometric aspects of fluvial features in the Oued Msoune watershed, covering an area of 2121.78 km².

The primary issue in this area is soil erosion due to significant runoff. It is acknowledged that for sustainable development, water and soil conservation is essential, with watershed management being the most appropriate approach. Hence, the application of Geographic Information System (GIS) has become imperative.

In this study, GIS techniques were employed to identify morphological features and analyze their properties within the watershed. Morphometric parameters, such as linear and areal aspects, were determined and computed using Digital Elevation Model (DEM) data and topographic maps at a scale of 1:50,000.

The Oued Msoune watershed exhibits a dendritic drainage pattern, with a bifurcation ratio of 2.45, indicating uniform geological structure and lithologies. Analysis reveals that as stream order increases, the total length of stream segments decreases, consistent with Horton's law of stream length. High drainage density and frequency suggest impermeability and limited groundwater recharge, with sparse vegetation. The form factor and elongation ratio indicate an elongated basin shape. This study provides valuable insights into the hydrodynamic behavior of the Oued Msoune.

© 2024 IUSRJs'. OpenAccess

Résumé

L'analyse morphométrique consiste en une description quantitative et une analyse des caractéristiques des formes telles que pratiquées en géomorphologie et appliquées à des bassins versants.

Cette étude intègre les aspects morphométriques linéaires, surfaciques et topographiques des caractéristiques fluviales du bassin versant de l'Oued Msoune, couvrant une superficie de 2121.78 km². Le principal problème de cette zone est l'érosion des sols due à un ruissellement important. Il est reconnu que pour assurer un développement durable,

Corresponding author

Fouad En-nahli: a PhD student in Physical Geography at the Faculty of Human and Social Sciences, Ibn Tofail University.

E-mail address fouad.en-nahli@uit.ac.ma

Abdelkhalek Ghazi

Professor of higher education at Ibn Tofail Kenitra University

E-mail address: abdelkhalek.ghazi@uit.ac.ma

<https://www.iusrj.org>

la conservation de l'eau et des sols est indispensable, la gestion des bassins versants étant la méthode la plus appropriée pour y parvenir. Pour cette raison, l'application du Système d'Information Géographique (SIG) est devenue une nécessité. Dans cette étude, des techniques de SIG ont été adoptées pour identifier les caractéristiques morphologiques et analyser leurs propriétés dans le bassin versant. Les paramètres morphométriques tels que les aspects linéaires et surfaciques du bassin versant ont été déterminés et calculés à l'aide de données de Modèle Numérique de Terrain (MNT) et de cartes topographiques à l'échelle de 1:50 000. L'Oued Msoune présente un schéma de drainage dendritique, avec un ratio de bifurcation de 2,45, indiquant une structure géologique et des lithologies uniformes. L'analyse a révélé qu'à mesure que l'ordre du cours d'eau augmente, la longueur totale des segments de cours d'eau diminue, conformément à la loi de Horton sur la longueur des cours d'eau. La densité et la fréquence du drainage étant élevées, cela indique que le bassin est imperméable et présente des caractéristiques de recharge en eau souterraine faibles, avec une végétation clairsemée. Le facteur de forme et le ratio d'allongement indiquent une forme allongée du bassin. Cette étude est ainsi précieuse pour comprendre le comportement hydrodynamique de l'Oued Msoune

Introduction

Cet article vise à présenter de manière approfondie le réseau hydrographique de la zone d'étude. Il est essentiel de déterminer les caractéristiques hydrologiques de ces régions, non seulement pour la recherche sur l'impact des conditions locales sur le cycle de l'eau, mais aussi pour anticiper l'évolution du réseau fluvial sous l'influence des pressions anthropiques.

Le réseau hydrographique, tel qu'observé en surface, est la manifestation visible des processus qui se déroulent dans le temps et dans l'espace géographique (Réménieras 1986). Bien que la représentation cartographique à une échelle adéquate offre une image précise des relations hydriques dominantes, il est important de noter qu'une représentation parfaitement fidèle du réseau hydrographique sur une carte est pratiquement impossible.

Composé de tous les cours d'eau présents dans la zone définie, le réseau fluvial montre une diversité significative en termes de taille et de densité. Afin de faciliter l'analyse, divers hydrographes ont introduit une classification des cours d'eau en rangées (numérotées), une méthode ultérieurement modifiée par des chercheurs tels que Horton, Strahler, et d'autres.

Selon la classification de Horton en 1945, la numérotation des cours d'eau commence par les cours d'eau initiaux, avec l'ordre 1 englobant ceux qui ne reçoivent pas d'apports. Les cours d'eau de l'ordre 2 résultent de la confluence de deux ou plusieurs cours d'eau de premier ordre, et ainsi de suite. Quelques années plus tard, A. Strahler a apporté des modifications, notamment en évitant de marquer les cours d'eau principaux d'une valeur plus élevée.

Pour évaluer la structure du réseau hydrographique de l'Oued Msoune, nous avons opté pour la méthode proposée par Strahler. Cette approche implique le comptage du nombre de segments de cours d'eau dans chaque rangée, la mesure de la longueur totale des segments de cours d'eau de rangs spécifiques, et le calcul de leur longueur moyenne. Selon le théorème de Horton, les cours d'eau d'ordres consécutifs des rangées suivantes forment un système hiérarchique dans lequel le nombre et la longueur moyenne des cours d'eau diminuent de manière géométrique. L'ampleur de cette progression peut être exprimée par le ratio (bifurcation, longueur des cours d'eau).

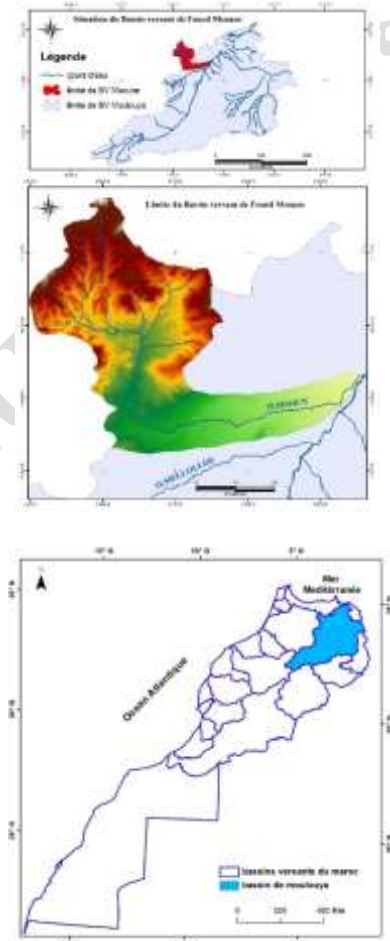


Figure 1 : Bassin versant de l'Oued Msoune dans son contexte général

Matériel et Méthode

L'exploration mathématique de la surface terrestre et la caractérisation de son relief, y compris sa forme et ses dimensions, sont des éléments essentiels de l'étude hydrogéomorphologique. Cette approche, connue sous le nom de Morphométrie, se concentre sur la quantification précise de paramètres clés tels que la surface, l'altitude, la forme, la pente, le profil et la texture des structures topographiques du bassin versant. Ces paramètres, pris dans leur ensemble, fournissent des informations essentielles pour comprendre le comportement hydrologique du bassin versant.

Dans cette étude, nous avons mené une analyse morphométrique approfondie du bassin versant de l'oued Msoune en nous appuyant sur des cartes topographiques à l'échelle de 1/50 000 et des Modèles Numériques de Terrain (MNT) offrant une résolution spatiale de 20 mètres. En utilisant le logiciel ArcGIS-10, nous avons calculé divers indices morphométriques pour obtenir des mesures spécifiques du bassin versant.

Nous avons commencé par délimiter précisément le bassin versant de l'Oued Msoune à partir des cartes topographiques à une échelle de 1:50 000. Ensuite, nous avons extrait le réseau de drainage à partir du MNT, en utilisant les outils d'analyse spatiale dans ArcGIS-10. Cette méthode automatisée de délimitation des cours d'eau a suivi plusieurs étapes, comprenant le MNT initial, le remplissage des dépressions, la détermination de la direction d'écoulement, l'accumulation d'écoulement, et enfin, l'identification de l'ordre des cours d'eau.

La figure 2 présente la délimitation du bassin versant de l'Oued Msoune sur une mosaïque des différentes cartes topographiques à l'échelle de 1/50 000. En outre, nous avons procédé à une analyse détaillée du réseau de drainage en énumérant le nombre de segments de cours d'eau dans chaque rangée, mesurant la longueur totale des segments de cours d'eau de rangs spécifiques, et calculant leur longueur moyenne.



Figure 2: Délimitation du B.V. de l'Oued Msoune

Cette approche intégrée de morphométrie fournit une base solide pour explorer les liens entre la configuration géomorphologique du bassin versant et son comportement hydrologique. En détaillant ces paramètres, elle offre une compréhension approfondie des processus hydrologiques et géomorphologiques qui opèrent dans cette région spécifique, jetant ainsi les bases nécessaires pour des études plus approfondies et des interventions de gestion adaptées.

Résultats et discussions

1. Les caractéristiques morphométriques et hypsométriques du B.V de l'Oued Msoune.

1.1 Les indices de formes :

L'indice de forme K_c , également connu sous le nom d'indice de compacité de Gravius, est largement adopté par les hydrologues dans le but de comparer la configuration d'un

bassin versant à celle d'un cercle de superficie et de périmètre équivalents. La détermination de cet indice repose sur la relation suivante :

$$K_c = 0.28 \cdot \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Avec : P : périmètre du bassin (Km)

A : superficie du bassin (Km²)

La compacité d'un bassin versant exerce une influence directe sur le temps nécessaire à l'acheminement des eaux jusqu'à l'exutoire (Taous 2005). En d'autres termes, une compacité réduite, signifiant une forme plus allongée avec un indice K_c plus élevé, se traduit par un allongement du temps requis pour que les eaux atteignent l'exutoire. Cela résulte du fait que, dans les bassins versants de forme étirée, le trajet parcouru par l'eau depuis les zones les plus éloignées jusqu'à la sortie est plus étendu, entraînant ainsi un délai prolongé avant que l'eau n'atteigne son point de déversement final.

1.2 Indice de rectangle équivalent

Le concept du rectangle équivalent est introduit dans le but d'assimiler un bassin versant à un rectangle ayant la même superficie et le même périmètre que celui du bassin. Ainsi, l'indice peut être formulé de la manière suivante (Grecu et al. 2011) :

$$I_R = \frac{L_R}{l_R}$$

$$L_R = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left\{ 1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right\}$$

$$l_R = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{K_c} \right)^2} \right\}$$

Avec

- $L_R \times l_R = A$
- $L_R + l_R = \frac{P}{2}$
- l_R : la longueur du rectangle équivalent (km).

2.3. Calcul des indices de forme et leurs impacts sur le comportement hydrologique de B.V:

Les calculs morphométriques réalisés à l'aide du logiciel ArcGIS 10 nous ont fourni les résultats suivants.

Altitudes(m)	Surface		Surface cumulée en %	
	surface en km ²	surface en %	surface cumulée supérieur	surface cumulée inférieur
300-600	864,5	40,74	40,74	100
600-900	524,3	24,71	65,45	59,26
900-1200	557,9	26,29	91,74	34,55
1200-1500	156,9	7,39	99,14	8,25
1500-1800	17,18	0,81	99,95	0,86
1800-2018	1	0,05	100,00	0,05
Totale	2121,78	100,00		0

Tableau 1: Les indices de forme du bassin versant de l'Oued Msoune

Après l'analyse des résultats présentés dans le tableau n°1, nous sommes en mesure d'affirmer que la morphologie du bassin versant de l'oued Msoune revêt une forme allongée, comme indiqué par l'indice de compacité de Gravius ($k_c = 1.78$). Cette caractéristique est corroborée par les résultats de l'indice de rectangle équivalent ($I_R = 7.91$).

La forme allongée de ce bassin exerce une influence significative sur sa réponse hydrologique, agissant sur des paramètres clés tels que la vitesse de concentration des eaux (T_c) et le débit de crue ponctuelle. C'est pourquoi ce bassin nécessite un temps prolongé pour le cheminement de l'eau jusqu'à l'exutoire, et il présente des débits de crue ponctuelle relativement faibles. Il est crucial de noter que la lenteur de la réponse hydrologique ne peut être attribuée uniquement à la forme du bassin, car d'autres facteurs interviennent dans la caractérisation du comportement hydrologique du bassin versant de l'oued Msoune.

En effet, la réponse hydrologique de ce bassin est le résultat d'une combinaison complexe de divers éléments, tels que la géologie, la couverture végétale, les conditions météorologiques et d'autres variables environnementales. Ainsi, il est important de considérer ces facteurs conjointement pour comprendre de manière holistique la dynamique hydrologique du bassin versant de l'oued Msoune. La forme allongée du bassin est un élément clé de cette analyse, mais elle doit être interprétée en conjonction avec d'autres variables pour une évaluation complète de son comportement hydrologique.

2. Les caractéristiques topographiques de B.V. de l'Oued

Msoune

2.1 La pente et l'hypsométrie

L'exploration de la pente et de l'hypsométrie s'avère cruciale pour appréhender le comportement hydrologique d'un bassin versant, étant donné que de nombreux paramètres évoluent en fonction de l'altitude et du système de pente. Ces variations altitudinales influent notamment sur des aspects fondamentaux tels que les précipitations et la vitesse de concentration des eaux (T_c). Comprendre ces dynamiques altitudinales et topographiques est impératif, car elles jouent un rôle déterminant dans la manière dont l'eau est redistribuée dans le bassin versant, affectant ainsi directement les processus hydrologiques tels que les taux de précipitation et le temps nécessaire à la concentration des eaux vers les exutoires.

• L'hypsométrie de bassin versant

À une observation initiale, il est évident que le relief du bassin versant de l'oued Msoune affiche une diversité notable, caractérisée par une combinaison de plaines et de reliefs accentués. Les altitudes les plus élevées sont situées principalement dans la partie nord, correspondant à la chaîne rifaine, tandis que les altitudes plus basses se manifestent dans la partie sud, spécifiquement dans le bassin de Guercif. Cette configuration altimétrique variée témoigne de la topographie complexe de la région, avec des différences significatives d'élévation entre les zones septentrionales et méridionales du bassin.

Afin de saisir l'organisation spatiale des altitudes dans le bassin versant de l'oued Msoune, nous avons subdivisé ce dernier en six classes altitudinales, chaque classe étant délimitée par une équidistance de 300 mètres. Chacune de ces plages altitudinales a été représentée en termes de superficie, exprimée à la fois en kilomètres carrés et en pourcentage, comme présenté dans le tableau n°3 correspondant. Cette démarche méthodique nous permet d'obtenir une vision détaillée de la répartition altimétrique au sein du bassin versant, fournissant ainsi des données significatives sur l'organisation spatiale des altitudes dans cette région particulière.

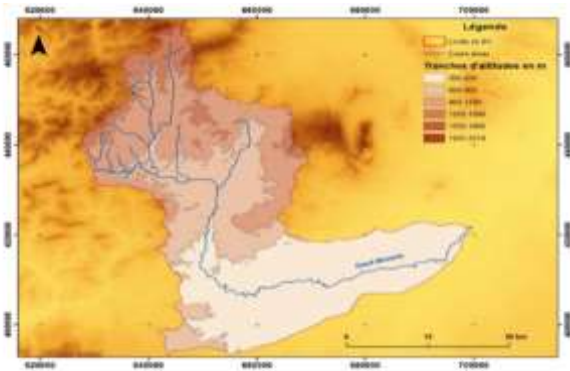


Figure 3 : Carte de répartition des tranches d'altitudes dans le B.V de l'Oued Msoune

	A(km ²)	P(km)	K_c	I_R(km)	I_R(km)	I_R
Oued Msoune	2121.78	293.7	1.78	129.56	16.37	7.91

Tableau 2: Répartition hypsométrique du B.V de l'Oued Msoune

L'analyse de la répartition altitudinale au sein du bassin de Msoune révèle une diversité topographique significative. L'altitude maximale culmine à 2018 mètres au sommet du Jbel Akachar au nord, tandis que l'altitude minimale atteint 300 mètres au point de confluence de l'Oued Msoune et de l'Oued Moulouya. La dénivellation théorique, calculée comme la différence entre l'altitude maximale et l'altitude minimale ($D_T = \text{Altitude maximale} - \text{Altitude minimale}$), s'établit donc à 1718 mètres.

Malgré l'ampleur de cette dénivellation théorique, qui représente une variation altitudinale substantielle de 1718 mètres, il est intéressant de noter la prédominance des classes d'altitudes plus basses, couvrant plus de 40% de la surface totale du bassin versant. Cette observation souligne une certaine hétérogénéité hypsométrique, où malgré la présence de variations altitudinales importantes, les altitudes inférieures prédominent dans la répartition globale.

Afin de mieux analyser cette hétérogénéité, nous avons élaboré une courbe hypsométrique, présentée dans la figure n°4 correspondante, illustrant de manière graphique la distribution des altitudes en fonction de leur superficie respective. Cette représentation graphique offre un aperçu visuel plus approfondi de la répartition altitudinale, permettant ainsi une compréhension plus fine de la topographie complexe du bassin de Msoune.

Selon l'analyse de la courbe hypsométrique, on constate que l'altitude médiane, représentée par la classe d'altitudes [600 m - 900 m] ($H_{50\%}$) équivaut à 700 mètres, ce qui est inférieur à l'altitude moyenne globale de 758.85 mètres. Cette disparité entre l'altitude médiane et l'altitude moyenne souligne une irrégularité dans la pente du bassin versant.

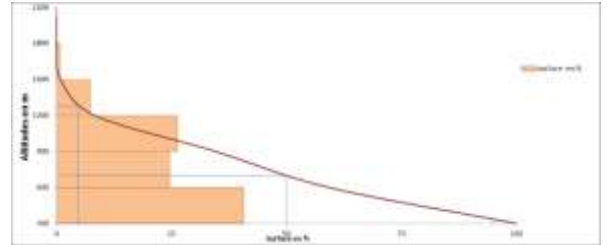


Figure 4: Courbe hypsométrique de bassin versant de l'Oued Msoune

L'atténuation de la pente en direction du sud indique que la partie aval du bassin est caractérisée par une plaine alluviale. En revanche, l'accentuation de la pente en direction des altitudes plus élevées suggère un potentiel érosif substantiel dans la partie amont du bassin versant.

$H_{max}(m)$	$H_{min}(m)$	$H_{moy}(m)$	$H_{médiane}(m)$	Altitudes fréquents en (m)
2018	300	758.85	700	300-600

Tableau 3: Les altitudes caractéristiques du B.V de l'Oued Msoune

Cette configuration altitudinale met en évidence la complexité topographique du bassin de Msoune, où une variation marquée de l'altitude médiane par rapport à l'altitude moyenne témoigne des dynamiques morphométriques et géomorphologiques en jeu. La douce pente vers le sud suggère des caractéristiques de plaines alluviales dans la section inférieure du bassin, tandis que l'accentuation de la pente vers les altitudes supérieures indique un potentiel érosif significatif dans la section amont. Cette interprétation affinée de la courbe hypsométrique offre ainsi un éclairage détaillé sur les caractéristiques topographiques et les processus géomorphologiques au sein du bassin versant de Msoune.

• **La pente**

L'écoulement naturel des eaux au fil du temps dans un bassin versant est en grande partie influencé par les caractéristiques

physiques et la morphologie du bassin, dont la majeure partie se reflète dans la configuration du système de pentes. Étant donné que les informations sur les pentes peuvent être aisément obtenues à partir de cartes topographiques et de Modèles Numériques de Terrain (MNT), il est opportun d'analyser ce système en se fondant sur le calcul de la pente totale, de la pente utile, et de la dénivelée spécifique, comme défini par les relations au-dessous, conformément aux travaux de Roche M. en 1963.

En d'autres termes, la topographie du bassin versant, qui peut être caractérisée par ces mesures de pentes, joue un rôle central dans la régulation du mouvement des eaux à travers le bassin. Ces paramètres, tels que la pente totale, la pente utile, et la dénivelée spécifique, offrent des indicateurs cruciaux pour évaluer la manière dont l'eau se déplace dans le bassin versant au fil du temps (Roche 1963). Analyser ces données permet donc de mieux comprendre les dynamiques hydrologiques et morphologiques du bassin, fournissant ainsi une base solide pour les études hydrologiques approfondies.

$$P_t = \frac{D_t}{L_r} \text{ Ou } P_U = \frac{D_U}{L_r}$$

$$D_S = P_U \cdot \sqrt{A}$$

- H_{max} : altitude maximale
- H_{min} : altitude minimale
- D_t : altitude maximale - Altitude minimale
- D_u : la classe qui présente 5% - la classe qui présente 95%
- P_t : la pente totale en %
- P_U : la pente utile en %
- D_S : dénivelée spécifique
- L_r : la longueur du rectangle équivalent

H_{max} (m)	H_{min} (m)	L_r (m)	D_t (m)	D_u (m)	P_t (m/km)	P_U (m/km)	D_S
2018	300	129,56	1718	935	13,62	7,21	332,09

Tableau 4: La pente de B.V de l'Oued Msoune

Les résultats obtenus, comme indiqué dans le tableau n°4 et les figure n°5 et 6, révèlent une prédominance de pentes douces (<15%) sur la majeure partie du bassin versant, englobant 62% de la surface totale. Cette section caractérisée par des pentes inférieures à 15% abrite principalement des plaines alluviales, qui agissent comme des zones de dépôt pour les sédiments transportés par l'Oued Msoune et ses affluents. En revanche, les pentes plus abruptes (>25%) se

concentrent dans la partie nord du bassin, correspondant à la zone montagneuse constituée principalement de terrains marneux du Crétacé et d'affleurements calcaires du Jurassique.

Dans l'ensemble, on constate que la pente globale du bassin de l'Oued Msoune est relativement modeste, avec une pente totale (P_t) de 13.62 mètres par kilomètre et une pente utile (P_u) de 7.21 mètres par kilomètre. Cette faible inclinaison du terrain est cohérente avec l'ampleur significative de la superficie du bassin versant de l'Oued Msoune. Cette observation suggère que le bassin, en raison de ses dimensions étendues, présente une topographie en général peu accidentée, favorisant ainsi des pentes modérées sur l'ensemble du territoire du bassin.

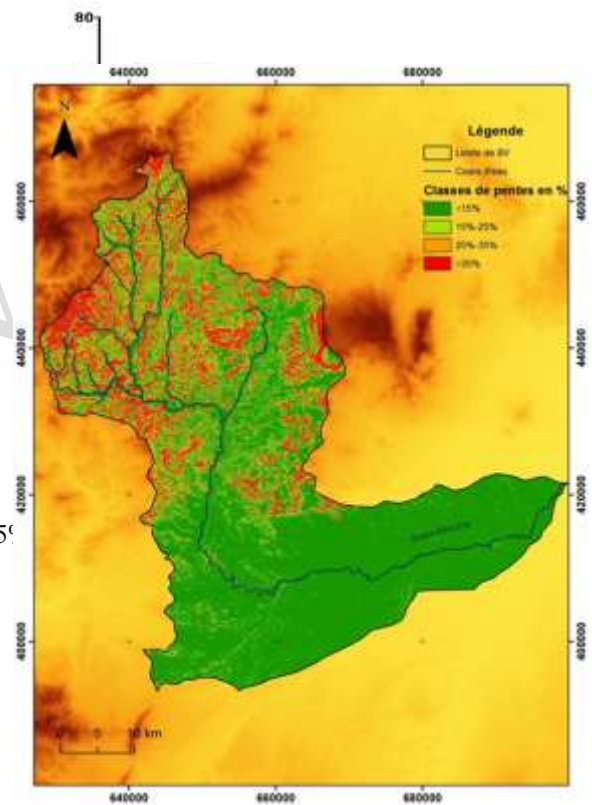


Figure 5: Classes des pentes dans le B.V de l'Oued Msoune et leurs surfaces

Par ailleurs, il est important de noter que la dénivelée spécifique, évaluée à 332.09, présente une valeur significativement élevée. Ce paramètre s'avère précieux pour atténuer l'influence de la superficie sur la pente, offrant ainsi une explication pertinente de l'impact prononcé sur la réponse hydrologique du bassin versant. Selon la classification de l'ORSTOM, cette valeur de dénivelée spécifique indique que le relief du bassin versant est catégorisé dans la classe des reliefs forts. Cette classification souligne l'importance de la

topographie du bassin, notamment son élévation significative par rapport à sa superficie, dans la configuration des réponses hydrologiques observées au sein du bassin versant.

La dénivelée spécifique	Type de relief
$D_s < 10$ m	Relief très faible
$10 \text{ m} < D_s < 25$ m	Relief faible
$25 \text{ m} < D_s < 50$ m	Relief assez faible
$50 \text{ m} < D_s < 100$ m	Relief modéré
$100 \text{ m} < D_s < 250$ m	Relief assez fort
$250 \text{ m} < D_s < 500$ m	Relief fort
$D_s > 500$ m	Relief très fort

Tableau 5: Classification du relief selon la dénivelée spécifique (Ds) source (Roche 1963)

3. Analyse morphométrique et hiérarchisation de réseau hydrographique

L'examen morphométrique du bassin versant de l'Oued Msoune a été effectué en utilisant une combinaison de données SIG (Système d'Information Géographique) et de MNT (Modèle Numérique de Terrain) avec une résolution spatiale de 20 mètres. La mesure des longueurs des cours d'eau, des zones du bassin versant a été effectuée en employant le logiciel ArcGIS-10. Pour déterminer l'ordre des cours d'eau, la méthode de Strahler (1952) a été adoptée, et l'outil ArcHydro du logiciel ArcGIS-10 a été utilisé pour générer le réseau hydrographique. Dans le cadre de cette analyse, plusieurs méthodes ont été employées pour étudier les aspects linéaires du bassin versant.

3.1 Ordre des affluents (Su)

La détermination de l'ordre "Su", représente la première étape cruciale dans l'analyse quantitative du réseau de drainage d'un bassin versant (Horton 1945). Bien que Horton ait recommandé le système d'ordre des cours d'eau, des ajustements ont été ultérieurement suggérés par Strahler (1952), qui a apporté quelques modifications à ce système établi. Dans le cadre de cette étude, le classement des affluents a été effectué en suivant la méthode préconisée par Strahler, comme présenté dans la figure n°21.

Les observations de Strahler ont mis en lumière une tendance significative : le nombre de cours d'eau appartient à des ordres inférieurs a une tendance à diminuer à mesure que l'ordre des flux augmente. Cette relation linéaire inverse est clairement illustrée dans le tableau n°10, où un rapport constant entre l'ordre des flux et le cumul du nombre de flux dans l'ordre

successif est manifeste. Ces observations mettent en évidence la préservation de la similarité géométrique dans l'ensemble du bassin versant.

En d'autres termes, la structure du réseau hydrographique exhibe une organisation spécifique où les cours d'eau d'ordres inférieurs sont plus nombreux, suivant une tendance décroissante à mesure que l'on progresse vers des ordres de flux plus élevés. Cette observation suggère une cohérence géométrique remarquable dans le bassin versant, soulignant l'importance de l'analyse de l'ordre des affluents pour comprendre la hiérarchie du réseau de drainage et ses implications dans la dynamique hydrologique du bassin versant.

3.2. Nombre des affluents (Nu)

Le nombre d'affluents "Nu", représente la somme totale des cours d'eau dans un ordre donné. Conformément à la proposition de Horton (1945), les nombres de cours d'eau de chaque ordre constituent une séquence géométrique inversée en relation avec le numéro d'ordre, comme illustré dans le tableau n°6.

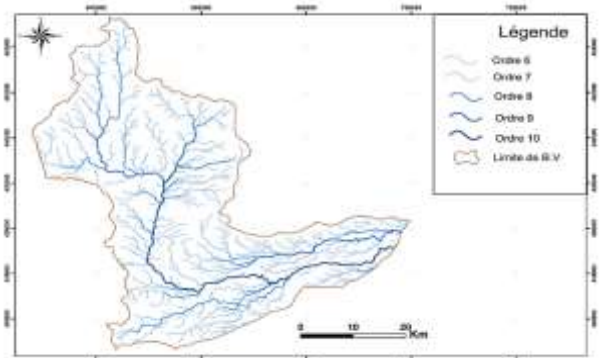


Figure 6: Hiérarchisation de réseau hydrographique de B.V de l'Oued Msoune

En d'autres termes, Horton souligne que le nombre d'affluents dans chaque ordre suit une progression géométrique inverse, ce qui signifie que le nombre de cours d'eau diminue de manière systématique à mesure que l'on avance dans les ordres successifs. Cette observation révèle une structure organisationnelle caractérisée par une distribution spécifique du nombre d'affluents en fonction de leur ordre respectif. Cette séquence géométrique inverse offre une perspective clé pour comprendre la configuration et la hiérarchie du réseau hydrographique, soulignant ainsi l'importance de l'analyse du nombre d'affluents dans le contexte de l'étude morphométrique du bassin versant.

Classification du réseau hydrographique de bassin versant de l'Oued Msoune				
Ordre de l'affluent	Nomdre des affluents (Nu)	Longueur des affluents en km (Lu)	Pourcentage des nombres des affluents (%)	Longueur moyenne des affluents en km (Lm)
X1	619226	3510,82	59,05	0,0056
X2	236593	10767,76	22,56	0,045
X3	95478	4066,49	9,10	0,042
X4	48450	1969,99	4,63	0,040
X5	24803	977,66	2,36	0,039
X6	12980	500,68	1,24	0,038
X7	5838	228,88	0,55	0,039
X8	3147	127,73	0,30	0,040
X9	1523	63,96	0,15	0,042
X10	538	22,73	0,06	0,042
Total	1048576	22236,70	100	

Tableau 6 : Classification du réseau hydrographique de B.V de l'Oued Msoune

3.3. Longueur du flux (Lu)

La mesure de la longueur des cours d'eau fournit des indices significatifs sur les caractéristiques de l'écoulement de surface dans un bassin versant. Les cours d'eau de moindre longueur sont souvent associés à des zones présentant des pentes prononcées et une texture de sol fine. En revanche, les cours d'eau plus étendus signalent des zones caractérisées par des pentes plus douces (Jasmin and Mallikarjuna 2013). Une observation notable est que la longueur totale des cours d'eau tend à diminuer à mesure que l'ordre des cours d'eau augmente, ce qui reflète des conditions idéales pour un bassin versant, comme l'avait noté Horton en 1945.

Dans le cadre de la présente étude, nous avons calculé les longueurs totales des cours d'eau du bassin versant de l'Oued Msoune en utilisant le logiciel ArcGIS, conformément à la méthode préconisée par Horton en 1945, comme explicité dans le tableau n°6. Cette approche méthodique permet d'appréhender la répartition des longueurs des cours d'eau dans le bassin versant, offrant ainsi des informations précieuses sur la topographie et les propriétés morphométriques de la région étudiée.

L'analyse des longueurs des cours d'eau selon la loi énoncée par Horton dans le contexte spécifique du bassin versant de l'Oued Msoune offre une perspective approfondie sur la dynamique de l'écoulement de surface.

3.4 Longueur moyenne du flux (Lm)

La longueur moyenne d'un cours d'eau, une propriété sans dimension, constitue une mesure significative de la taille caractéristique des éléments composant un réseau de drainage et de la superficie qui lui est associé (Benzougagh and all 2016). Cette grandeur sans dimension est calculée en divisant la longueur totale des cours d'eau d'un ordre donné par le nombre total de segments dans cet ordre, comme illustré dans le tableau n° 6.

$$L_m = L_u / N_u$$

Avec L_u est la totale des cours d'eau d'ordre x

N_u est la totale nombre des cours d'eau de l'ordre x

En d'autres termes, la longueur moyenne offre une perspective normalisée sur la taille des cours d'eau au sein d'une hiérarchie donnée. Cette métrique fournit une indication précieuse de la manière dont la longueur totale est répartie au sein de chaque ordre, permettant ainsi de mieux comprendre les caractéristiques morphométriques spécifiques du réseau de drainage. L'analyse de la longueur moyenne contribue ainsi à dévoiler les proportions relatives des cours d'eau dans le contexte du réseau hydrographique, renforçant ainsi la compréhension de la dynamique et de la structure du bassin versant.

3.5 Longueur de l'écoulement terrestre (Lg)

Horton (1945) a employé ce paramètre pour caractériser la durée pendant laquelle l'eau de pluie s'écoule à la surface du sol avant de se concentrer dans des cours d'eau bien définis (Varade 2018). Dans le cadre de la présente étude, la longueur de l'écoulement terrestre, notée (L_g), du bassin versant de l'Oued Msoune, est établie à 0,047 km, comme indiqué dans le tableau n°8. Ce résultat suggère des trajets relativement courts, marqués par des pentes abruptes, ce qui implique un ruissellement limité et une infiltration réduite.

En d'autres termes, la valeur de la longueur de l'écoulement terrestre (L_g) indique que l'eau de pluie dans le bassin versant de l'Oued Msoune tend à parcourir des distances restreintes avant de converger vers des cours d'eau. Cette

caractéristique est associée à des pentes abruptes, suggérant que l'écoulement superficiel prédomine, avec moins d'infiltration dans le sol. Cette information revêt une importance capitale pour la compréhension du régime hydrologique du bassin versant, offrant des indications sur la rapidité avec laquelle les eaux de pluie peuvent être canalisées vers les cours d'eau et, par conséquent, sur les potentiels risques d'inondation associés à de courts trajets d'écoulement.

4.les rapports de confluences

4.1. Ratio de bifurcation (Rb)

Le ratio de bifurcation (Rb) est défini comme le rapport entre le nombre de cours d'eau d'un ordre donné (n) et le nombre de cours d'eau de la catégorie immédiatement supérieure (n+1), selon les travaux de (Horton 1945) et (Schumm 1956). Mathématiquement, cela se représente comme :

$$R_b = \frac{N_n}{N_{n+1}}$$

Ce paramètre, qui ne possède pas d'unité, présente des variations subtiles d'une région à une autre, sauf dans les cas où un contrôle significatif prévaut (Strahler 1957). Strahler (1957) a également mis en évidence que la bifurcation présente des irrégularités d'un ordre à l'autre, dépendant des caractéristiques géologiques, lithologiques, et de l'aménagement du bassin versant. Typiquement, le rapport de bifurcation varie entre 3 et 5 (Pareta and Pareta 2012).

Dans le contexte de la présente étude, des valeurs plus basses de Rb, voir tableau n°7, indiquent que le bassin de drainage est caractérisé par des matériaux relativement homogènes. Dans ces conditions, les cours d'eau présentent généralement une ramification systématique, avec un grand nombre de cours d'eau de premier, deuxième et troisième ordre (Strahler 1957). Les observations effectuées dans le bassin de l'Oued Msoune mettent en évidence que les cours d'eau d'ordre inférieur sont nombreux et ont une longueur d'écoulement relativement réduite. Cette configuration explique la propension à des crues soudaines et contribue à une réponse rapide aux précipitations torrentielles.

4.2. Ratio de bifurcation moyen pondéré (R_{bm})

Afin d'obtenir un nombre de bifurcations plus représentatif, (Strahler 1952) a introduit une approche consistant à utiliser un ratio de bifurcation moyen. Cette

mesure est calculée en multipliant le ratio de bifurcation pour chaque paire d'ordres successifs par le nombre total de flux impliqués dans le ratio, puis en prenant la moyenne de la somme de ces valeurs. (Schumm 1956) a également recouru à cette méthode, qui a été appliquée dans la présente étude pour déterminer le rapport de bifurcation moyen (R_{bm}).

En d'autres termes, cette approche sophistiquée vise à affiner la représentation du réseau de bifurcation en prenant en compte l'ensemble des flux et en calculant une moyenne pondérée des rapports de bifurcation (Pareta and Pareta 2012). La méthode de Strahler permet ainsi d'atténuer les fluctuations potentielles observées dans des paires d'ordres successifs spécifiques, fournissant une mesure plus globale et représentative du phénomène de bifurcation dans le bassin versant.

Références bibliographiques

- [1] Almeida and all. 2014. "Estimation on Time of Concentration of Overland Flow in Watersheds: A Review." *Geociencias* 33 (4): 661–71.
- [2] Benzougagh and all. 2016. "Utilisation Du Sig Dans L'Analyse Morphométrique Et La Prioritisation Des Sous-Bassins Versants De" *12 (6): 283–306.* <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n6p283>.
- [3] Fang, Xing, David B. Thompson, Theodore G. Cleveland, Pratistha Pradhan, and Ranjit Malla. 2008. "Time of Concentration Estimated Using Watershed Parameters Determined by Automated and Manual Methods." *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 134 (2): 202–11. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9437\(2008\)134:2\(202\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9437(2008)134:2(202)).
- [4] Grecu, Florina, Cristina Ghiță, Maria Albu, and Emil Circiumaru. 2011. "Geomorphometric Analysis on the Some Riverbeds in the Romanian Plain." *International Journal of Physical Sciences* 6 (30): 7055–64. <https://doi.org/10.5897/IJPS11.913>.
- [5] Horton, Robert E. 1932. "Drainage-basin Characteristics." *Eos, Transactions American Geophysical Union* 13 (1): 350–61. <https://doi.org/10.1029/TR013i001p00350>.
- [6] 1945. "Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins, Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology." *Nihon Ringakkai*

- Shi/Journal of the Japanese Forestry Society 37 (12): 555–58. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56).
- [7] Howard. 1967. “Drainage Analysis in Geologic Interpretation: A Summation.” AAPG Bulletin 51: 2246–59. <https://doi.org/10.1306/5d25c26d-16c1-11d7-8645000102c1865d>.
- [8] Jasmin, I., and P. Mallikarjuna. 2013. “Morphometric Analysis of Araniar River Basin Using Remote Sensing and Geographical Information System in the Assessment of Groundwater Potential.” Arabian Journal of Geosciences 6 (10): 3683–92. <https://doi.org/10.1007/s12517-012-0627-1>.
- [9] Mailhot, Alain, Samuel Bolduc, and Mikael Guillou. 2016. “Hydrologie À L’Échelle De Petits Bassins-Versants Agricoles.”
- [10] Pareta, Kuldeep, and Upasana Pareta. 2012. “Quantitative Geomorphological Analysis of a Watershed of Ravi River Basin, H.P. India.” International Journal of Remote Sensing and GIS 1 (1): 41–56. www.rpublishing.org.
- [11] Reddy and all. 2004. “Drainage Morphometry and Its Influence on Landform Characteristics in a Basaltic Terrain, Central India - A Remote Sensing and GIS Approach.” International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 6 (1): 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2004.06.003>.
- [12] Réménieras. 1986. “Hydrologie de l’ingénieur.Pdf.”
- [13] Roche, M. 1963. Hydrologie de Surface. Science. Vol. 140. <http://science.sciencemag.org/content/140/3567/659.1>.
- [14] Schumm. 1956. “Geological Society of America Bulletin EVOLUTION OF DRAINAGE SYSTEMS AND SLOPES IN BADLANDS AT PERTH AMBOY , NEW JERSEY.” Bulletin of the Geological Society of America 67 (5): 597–646. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67).
- [15] Strahler. 1952. “HYPSONOMETRIC (AREA-ALTITUDE) ANALYSIS OF EROSIONAL TOPOGRAPHY.” Geological Society Of America Bulletin 63 (11): 1117–4 [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63).
- [16] Strahler, A. 1957. “Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology, Transactions of the American Geophysical Union.” Transactions, American Geophysical Union 38 (6): 913–20.
- [17] Taous, Ali. 2005. Géomorphologie Fluviale. Edited by Sais-Fés Faculté des lettres et des sciences humaines.
- [18] Tate, Nicholas J., Anthony J. Parsons, and D. Mark Powell. 2004. “Classics in Physical Geography Revisited.” Progress in Physical Geography 28 (1): 125–29. <https://doi.org/10.1191/0309133304pp404xx>.
- [19] Varade. 2018. “Morphometric Analysis of Dhaneri Watershed, Gambhar River Basin, Himachal Pradesh, India.” Journal of Geosciences Research 3 (1): 59–65. www.ggsnagpur.org



Fouad En-nahli : He is currently pursuing a PhD in Physical Geography at the Faculty of Human and Social Sciences, Ibn Tofail University since 2019.

In 2016, he received a Master's degree in Geography from the Faculty of Letters and Human Sciences Sais in Fez, and it was characterized as 'Fairly Good'. He also finished his Geography Bachelor's degree at the same institution in 2014, with an 'Fairly Good' mention.



Abdelkhalek Ghazi

Professor of higher education at Ibn Tofail Kenitra University

E-mail address:

abdelkhalek.ghazi@uit.ac.ma