

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT : HYDRAULIQUE
N° :



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
FILIERE : HYDRAULIQUE
OPTION : OUVRAGE HYDROLIQUE

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

Par : **SAOULI Abdessabor
KADRI Ahmed**

Intitulé

**Cartographie des risques d'érosion par l'utilisation
de SIG et le modèle EPM. Cas du sous bassin
versant de Boussellam - Soummam**

Soutenu devant le jury composé de :

.....	Université de M'sila	Président
MOKHTARI Elhadj	Université de M'sila	Encadreur
ABDELKEBIR Brahim	Université de Guelma	Co- Encadreur
.....	Université de M'sila	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فَلْيَبْغِزْ بَيْنَنَا وَبَيْنَ آلِ قَارِئِينَ
بِئْسَ مَا كَانُوا يَفْعَلُونَ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

Résumé :

Le problème de l'érosion est un sujet qui s'impose jour après jour au niveau des politiques environnementales car c'est le facteur le plus fondamental de la dégradation de l'environnement dans sa forme générale. Ce phénomène dans son ampleur est aujourd'hui appréhendé en termes de risques naturels. C'est un phénomène hautement mécanique car sa prévisibilité temporelle reste un processus particulièrement difficile et dangereux dans l'état actuel des connaissances. En revanche, la précision érosive et mécanique peut être déterminée avec une grande justesse.

Les facteurs les plus importants qui contribuent à ce phénomène environnemental sont (les précipitations, le relief, la couverture végétale, la pente, la sensibilité du sol à l'érosion, la température).

Sur la base de ces facteurs, ce problème naturel a été étudié dans la région de **Boussellam**, qui est située au nord-est de l'état de Bejaia, qui est le bassin le plus grand et le plus important pour la région de **Soummam**, avec une superficie d'environ 4168,59 km²

Compte tenu de ses composantes physiques et de l'importance des enjeux sociaux et économiques qui s'y imposent, ce bassin est soumis à des dynamiques d'érosion et notamment d'érosion pouvant évoluer à terme vers un état de désertification. Et cartographier l'exposition à l'érosion, car il s'agit d'un travail systématique basé sur une méthode multicritères, ce qui permet de dresser des cartes d'érosion basées sur la relation entre les différents facteurs mentionnés ci-dessus qui ont un impact sur le phénomène d'érosion.

Pour exprimer le niveau de vulnérabilité dans ce domaine. Le résultat est un document qui constitue un outil d'aide à la décision en matière de gestion et de protection des ressources naturelles.

Mots clés : érosion, Boussellam, SIG, EPM

Abstract:

The problem of erosion is a topic that is being imposed day after day at the level of environmental policies because it is the most basic factor in environmental deterioration in its general form. This phenomenon in its magnitude is understood today in terms of natural hazards. It is a highly mechanical phenomenon because its temporal predictability remains a particularly difficult and dangerous process in the present state of knowledge. On the other hand, erosive and mechanical precision can be determined with great accuracy.

The most important factors that contribute to this environmental phenomenon are (precipitation, relief, vegetation cover, slope, soil sensitivity to erosion, temperature).

Based on these factors, this natural problem (erosion) was studied in the region of Boussellam, which is located in the northeast of the state of Bejaia, which is the largest and most important basin for the region. Of Soummam, with an area of about 4168.59km²

Considering its physical components and the importance of the social and economic stakes, which are essential there, this basin is subjected to dynamics of erosion and in particular of erosion being able to evolve in the long term towards a state of desertification and map the exposure to erosion, since it is a systematic work based on a multi-criteria method, which makes it possible to draw erosion maps based on the relationship between the different factors mentioned above that have an impact on the phenomenon of erosion.

To express the level of vulnerability in this area. The result is a document that is a decision-making tool for the management and protection of natural resources.

Keywords: erosion, Boussellam, GIS, EPM

ملخص:

مشكلة التآكل (التعرية) هو موضوع يتم فرضه يوم بعد يوم على مستوى السياسات البيئية لأنه يعد أكبر عوامل الأساسية في تدهور البيئي بشكله العام. هذه الظاهرة بحجمها تفهم اليوم من حيث المخاطر الطبيعية إنها ظاهرة ميكانيكية للغاية لأن قابليتها للنتنؤ الزمني تضل عملية صعبة وخطيرة بشكل خاص في الحالة الحالية للمعرفة. من ناحية أخرى يمكن تحديد الدقة التآكلية و الميكانيكية بدقة كبيرة .

من أهم العوامل المساعدة في هذه الظاهرة البيئية هي (هطول الأمطار ، التضاريس ، الغطاء النباتي ، الانحدار ، حساسية التربة للتعرية ، درجة الحرارة)

بناءً على هذه العوامل تم دراسة هذه المشكلة الطبيعية (التعرية) على منطقة بوسلام التي تقع في الشمال الشرقي لولاية بجاية والذي يعد أكبر الأحواض وأهمها لمنطقة الصومام حيث يبلغ مساحته حوالي $4168,59 \text{ Km}^2$

ونضرا لمكوناته المادية وأهمية التحديات الاجتماعية و الاقتصادية التي تقع عليه ، يخضع هذا الحوض لدينامكية التآكل و التعرية الحية بشكل خاص قد تنقلب في نهاية المطاف إلى حالة تصحر ، الغرض من هذه الدراسة هو تحليل ورسم خريطة التعرض للتآكل ، لأنه عمل منهجي يعتمد على طريقة متعددة المعايير مما يجعل من الممكن رسم خرائط التعرية على أساس العلاقة بين العوامل المذكورة المختلفة أعلاه التي لها تأثير على ظاهرة التعرية .

للتعبير عن مستوى الضعف في هذه المنطقة .والنتيجة هي وثيقة تشكل أداة لدعم القرار من حيث إدارة وحماية الموارد الطبيعية.

الكلمات المفتاحية: تعرية ، بوسلام ، نظم المعلومات الجغرافية

Remerciement :

*Nous remercions Dieu Tout Puissant de nous avoir donné
la patience et la force pour terminer ce travail.*

*Nos vifs remerciements vont particulièrement à **nos parents**
pour leurs soutiens et confiance.*

*Notre plus grande reconnaissance va à l'égard de notre
promoteur et co-promoteur Mr **MOKHTARI Elhadj**, et
ABDELKEBIR Brahim et tous ceux qui nous ont aidés.*

*Nous adressons aussi nos remerciements aux membres du
jury qui ont bien voulu analyser et évaluer ce travail.*

*Et enfin, nous remercions, également, tous les enseignants
et responsables du département d'hydraulique ainsi que
nous camarades de la **promotion de l'an 2022***

**SAOULI ABDESSABOR
KADRI AHMED**

Dédicace

C'est avec profonde gratitude et sincères mots,

Que je dédie ce modeste travail de fin d'étude :

À mes chers parents, pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur soutien
et leurs prières tout au long de mes études

À tous mes professeurs depuis le primaire jusqu' à l'enseignement
universitaire,

E un grand et spéciale dédicace a À ma femme Meriem

SAOULI ABDESSABOR

Dédicace :

Je dédie ce modeste travail :

À mes parents

Toute ma famille.

À tous ceux que nous ne nommons pas, mais qui
Se reconnaîtront.

Kadri ahmed

Sommaire

Introduction Générale

Chapitre I: Recherche bibliographique sur l'érosion

I.1	Introduction :	01
I.2	Historique :	02
I.3	Définition d'érosion :	02
I.4	Facteurs influençant l'érosion :	02
I.4.1	Influence du climat :	02
I.4.2	Influence du sol :	03
I.4.3	Influence des facteurs topographiques :	03
I.4.4	Influence des facteurs géologiques :	03
I.4.5	Influence du couvert végétal :	03
I.4.6	Les labours inadaptés :	03
I.5	Types d'érosion :	04
I.5.1	L'érosion éolienne :	04
I.5.2	L'érosion aratoire :	05
I.5.3	Les facteurs influençant la quantité de terre déplacée sont :	05
-	Le type d'outil ;	05
-	La fréquence des passages ;	05
-	La pente,	05
I.5.4	L'érosion hydrique :	06
a)	Le détachement :	07
-	L'humectation par l'effet de l'impact des gouttes de pluies :	07
-	Le ruissellement :	08
a)	Transport des particules :	09
b)	La sédimentation :	12
-	Érosion en nappe	12
-	Érosion linéaire	13
I.6	Causes et des conséquences de l'érosion des sols :	15
I.6.1	Les Causes :	15
I.7	Les conséquences :	16
I.8	Conclusion :	16

Chapitre II: Description de la région d'étude

II.1	Introduction :	18
II.2	Notion du bassin versant :	18
II.3	Situation géographique du bassin versant de Boussellam (Soummam) :	19
II.4	Caractéristiques physiques :	21

II.4.1	Cadre géologique du bassin versant de l'Oued Boussalem :	21
II.4.2	Les sols :	22
II.4.3	Couvert végétal :	23
II.5	Le réseau hydrographique :	24
II.5.1	Caractéristiques morphométriques :	25
II.5.1.1	La surface (A) :	25
II.5.1.2	Le périmètre :	26
II.5.1.3	L'indice de compacité de Gravelius :	26
II.5.1.4	Rectangle équivalent :	26
II.6	Indice de pente :	29
II.6.1	Indice de pente globale (Ig) :	30
II.6.2	Dénivelée spécifique (DS) :	30
II.6.3	La carte des pentes :	31
II.7	Paramètres du réseau hydrographique :	32
II.7.1	Densité de drainage Dd :	32
II.7.2	Coefficient de torrencialité (CT) :	32
II.7.3	Densité hydrographique (F) :	32
II.7.4	Temps de concentration (TC) :	32
II.7.5	Vitesse d'écoulement de l'eau (ve)	33
II.8	Situation climatique :	33
II.8.1	Climat :	33
II.8.2	Température :	34
II.8.3	Vent :	35
II.8.4	Précipitations :	36
II.9	Conclusion :	39

Chapitre III : Description de la région d'étude

III.1	Introduction :	40
III.2	Méthodologie :	41
III.3	Résultats et discussion :	43
III.3.1	Coefficient de la température (T) :	43
III.3.2	Précipitation moyenne annuelle en (H) :	47
III.3.3	Coefficient de protection du sol (Xa) :	48

III.3.4	Coefficient d'érosion du sol (Y) :	53
III.3.5	Les pentes de la zone d'étude en <i>Ja</i> (%) :.....	59
III.3.6	Coefficient d'érosion (Z) :	60
III.3.7	Volume annuel moyen des sédiments érodés (W).....	62
III.4	Comparaison avec les études réalisées sur le bassin versant de Oued Soummam.....	65
III.5	Conclusion.....	66
	Conclusion général	

Liste des Tableaux

TABLEAU II.1 . REPARTITION DES DIFFERENTES TRANCHES D'ALTITUDE	28
TABLEAU II.2 . CLASSIFICATION DE L'ORSTOM [33].....	31
TABLEAU II.3 . TEMPERATURES MOYENNES MENSUELLES EN DEGRES CELSIUS CORRIGEEES DE LA REGION D'ETUDE [7].....	35
TABLEAU II.4: VITESSE MENSUELLE MOYENNE DU VENT (1994-2003) [27].....	36
TABLEAU II.5 . VALEURS DES PRECIPITATIONS MENSUELLES ET ANNUELLES DE 13 STATIONS DU SOUS BASSIN VERSANT BOUSSELLAM (1970 -2017) [29,31].....	37
Tableau II.6 .Principales caractéristiques morphométriques du bassin de Boussellam	38
TABLEAU III.1 . (XA) EN FONCTION D'OCCUPATION DES SOLS PAR LES VEGETAUX [12].....	48
TABLEAU III.2 . REPARTITION DES CLASSES DE L'NDVI DANS LE BASSIN VERSANT DE FEVRIER ET JUILLET D'ANNEE 2021.....	51
TABLEAU III.3 . REPARTITION DES CLASSES DU VECTEUR XA DANS LE BASSIN VERSANT DE FEVRIER ET JUILLET D'ANNEE 2021	52
TABLEAU III.4 . CODIFICATION DE LA STRUCTURE DES SOLS Cs (WISCHMEIER ET SMITH, 1978).....	53
TABLEAU III.5. CODIFICATION DE LA PERMEABILITE DES SOLS (BP) (WISCHMEIER ET SMITH, 1978).....	54
TABLEAU III.6. TYPE DE SOL EN FONCTION DE (GAVRILOVIC S., 1962 ; 1970).....	54
TABLEAU III.7 . REPARTITION EN CLASSES DU FACTEUR Y PAR APPORT LE POURCENTAGE DE LA SURFACE.....	55
TABLEAU III.8 . TYPE D'EROSION DU SOL EN FONCTION (Φ) (GAVRILOVIC S., 1962 ; 1970)	56
TABLEAU III.9 . REPARTITION EN CLASSES DU FACTEUR(Φ) DANS LE BASSIN VERSENT POUR LES MOIS FEVRIER ET DECEMBRE DE L'ANNEE 2021	58
TABLEAU III.10 . REPARTITION DE CLASSES DU COEFFICIENT D'EROSION ANNUELLE (Z) DANS LE BASSIN VERSENT POUR L'ANNEE 2021	62
TABLEAU III.11 .CLASSEMENT DES PERTES EN SOLS EN COUS D'ANNEE	64

Liste des figures

Figure 0.1. érosion éolienne [9]	04
Figure 0.2 . mode d'érosion éolienne [8]	05
Figure I.3 . Processus de l'érosion hydrique [11]	07
Figure I.4 . Éclatement des agrégats [7].....	07
Figure I.5. Détachement par splash [7]	08
Figure I.6 . Détachement par ruissellement [11].....	09
Figure I.7 . Diagramme de Hjulström [2].....	11
Figure I.8. Mode de transport solide [2].....	11
Figure I.9 . mode d'envasement du barrage [3]	12
Figure I.10 . L'érosion en nappe [19].....	13
Figure I.31. Principaux types de l'érosion hydrique [19]	14
Figure I.12 . Les formes d'érosion en masse [29].....	15
Figure.II.1 .Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique [24]	18
Figure II.2 . Carte des grands bassins versants d'Algérie [25]	19
Figure II.3 . Les grands sous bassins versants de la Soummam [26].....	19
Figure II.4 . Délimitation du sous bassin versant de Boussellam	20
Figure II.5. Profil en long de l'Oued Boussellam - Soummam [27].....	21
Figure II.6 . Carte géologique du bassin versant de la Soummam [26]	22
Figure II.7 . Carte des sols du bassin de la Soummam (Charifi S., 2006).	23
Figure II.8 . Réseau hydrographique du bassin Soummam [31].....	24
Figure II.9 . Réseau hydrographique du sous bassin Boussellam	25
Figure II.10 . Carte des tranches d'altitude du bassin Boussellam	28
Figure II.11 . Courbe hypsométrique du bassin versant Boussellam	29
Figure II.12. Carte des pentes du bassin Boussellam.....	31
Figure II.13 . Étages bioclimatiques du bassin Soummam [26].....	34
Figure III.1 .Organigramme du modèle Gavrilovic « EPM » Baali. S.2018	43
Figure III.2 . Le facteur de la température "T" du bassin versant en février	44
Figure III.3 . Le facteur de la température "T" du bassin versant en juillet.....	45
Figure III.4.le facteur de la température "T" du bassin versant en septembre	45
Figure III.5. Le facteur de la température "T" du bassin versant en décembre.....	46
Figure III.6. Le Facteur moyenne de la température "T" pour (février, juillet, septembre et décembre) d'année 2021	46

Figure III.7. Le facteur des précipitations moyennes annuelles H moyen.....	47
Figure III.8 . Carte des valeurs de L'NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT-8 du mois février.....	49
Figure III.9 . Carte des valeurs de L'NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT-8 du mois juillet	50
Figure III.10 . Carte des valeurs de L'NDVI moyenne générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT-8 de février et juillet l'année 2021	50
Figure III.11 . Carte des valeur du Xa générée a partir de la transformation de NDVI de l'année 2021.....	52
Figure III.12.carte du facteur Y a partir de la relation de (WISHMEIER ET SMITH 1978)	55
Figure III.13 .Carte de facteur (Φ) générée à partir des images satellitaires Land sat-8 du mois Février de l'année 2021.....	57
Figure III.14 . Carte de Facteur (Φ) générée à partir des images satellitaires Land sat-8 du mois décembre de l'année 2021	57
Figure III.15 . Carte de facteur (Φ) générée à partir des images satellitaires Land sat-8 et la moyenne des mois Février e décembre de l'année 2021	58
Figure III.16. Carte des pentes JA (%)......	59
Figure III.17 . La classe de la érosion en Fonction de (Z) (GAVRILOVIC S., 1962 ; 197III)	60
Figure III.18 .Carte de classification du coefficient d'érosion Z	61
Figure III.19.Carte du coefficient d'érosion annuelle Z	61
Figure III.2 . Volume moyenne annuelle des sédiments érodent (w) pour l'année 2III21	63
Figure III.21 .Quantités annuelles moyenne d'érosion (G) pour L'année 2III21	64
Figure III.22. Taux annuel des pertes en sol par RUSLE (Juillet 2III15 et Mars 2III16) en (t/ha/an) [7].....	65

Introduction générale

L'érosion du sol est un phénomène naturel ou géologique dans lequel les particules du sol sont détachées et déplacées par plusieurs principaux facteurs qui sont : la pluie, la végétation, le sol, la géomorphologie (pentes en particulier) et les impacts de l'utilisation des sols par l'homme. Ce phénomène naturel a un impact très néfaste au niveau régional, dépend d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux, ce qui nécessite beaucoup d'études et de mesures sur le terrain. L'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : l'érosion en nappe ou en rigoles et l'érosion linéaire ou ravinaiement elle a de graves conséquences sur notre environnement, sur nos activités et peut causer des dommages importants. [1]

Au sein de ce décor fâcheux, le nord d'Algérie est considéré comme la plus sensible à l'érosion. Les sols de cette région, tels qu'ils se présentent aujourd'hui, résultent des interactions entre les processus naturels de la pédogenèse, de l'érosion et des activités des sociétés humaines, qui sont parmi les plus anciennes au monde à pratiquer l'agriculture. Dans cette région, rares sont les sols qui ont pu se développer sans être marqués, plus ou moins profondément, par l'action directe ou indirecte de l'homme. [2]

Parmi les zones exposées à l'érosion au Nord d'Algérie, on peut citer le bassin versant Bousselam, qui est connu par ses reliefs et climat variés.

Ce travail a pour objectif la cartographie des risques d'érosion de ce bassin par utilisant et le Modèle Érosion Potentiel Méthode (EPM). L'étude sera réalisée en plusieurs étapes : premier chapitre est un recherche bibliographique sur l'érosion. Le deuxième chapitre sera consacré à la description du bassin versant de Bousselam. Évaluation et la cartographie de l'érosion par l'utilisation de SIG et le modèle EMP fera l'objet du troisième chapitre. et Une conclusion générale.

Chapitre I

Recherche bibliographique sur l'érosion

chapitre I : Recherche bibliographique sur l'érosion

I.1 Introduction :

L'érosion du sol est un phénomène naturel ou géologique dans lequel les particules du sol sont détachées et déplacées par plusieurs principaux facteurs qui sont : la pluie, la végétation, le sol, la géomorphologie (pentes en particulier) et les impacts de l'utilisation des sols par l'homme. Ce phénomène naturel a un impact très néfaste au niveau régional, dépend d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux, et sont de ce fait complexes à modéliser, ce qui nécessite beaucoup d'études et de mesures sur le terrain. L'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : l'érosion en nappe ou en rigoles et l'érosion linéaire ou ravinement elle a de graves conséquences sur notre environnement, sur nos activités et peut causer des dommages importants. Les mesures de perte en terre sont exprimées localement comme la masse nette de sol perdu pendant une certaine période pour une surface donnée (échelle parcellaire). La production en sédiment, quant à elle, est définie comme la masse de sédiment émise par un bassin versant de taille quelconque pendant une période donnée. [2]

I.2 Historique :

L'érosion façonne la Terre depuis qu'elle est émergée. Et depuis plus de 7000 ans, l'Homme s'acharne à lutter contre l'érosion pour protéger ses terres contre l'agressivité des pluies et du ruissellement. On prend donc conscience que les civilisations humaines qui se sont succédées dans l'histoire, ont été soumises aux effets de l'érosion et ont du faire face pour faire pérenniser leurs activités. La civilisation Maya qui a perduré entre 2000 ans avant J-C et 900 ans après J-C dans la région Mésoaméricaine, est l'un des exemples les plus marquants de l'impact de la dégradation des terres due à l'érosion pluviale, sur la décadence des grandes civilisations de l'humanité. [3]

Les Mayas étaient des agriculteurs qui avaient développé une agriculture itinérante sur brûlis dans les basses terres fertiles.

Leur démographie a très vite augmenté au fil des générations, les poussant à gagner du terrain sur les hautes terres où une déforestation effrénée a conduit à l'érosion hydrique des sols entraînant l'ensablement des lacs en aval et l'épuisement des sols.

Une famine s'en est suivie et c'est elle qui est la cause principale de la décadence de cette brillante civilisation. Cependant le développement technologique de l'agriculture des siècles après la civilisation des Mayas, n'a pas résolu le problème de l'érosion hydrique des sols sur les activités humaines. La France du XII^e Siècle et L'Égypte actuel (dans les années 1930) entre autres, ont connu une dégradation progressive des terres à cause de l'érosion pluviale qui était très fortement liée à l'augmentation de la densité de la population dans les campagnes et les villes. Ce qui a eu pour conséquence d'annuler la jachère, il s'en est suivi une baisse de productivité du sol et des périodes de famine retentissantes. [4]

I.3 Définition d'érosion :

Érosion vient de "ERODERE", verbe latin qui signifie "ronger". L'érosion ronge la terre comme un chien s'acharne sur un os. D'où l'interprétation pessimiste de certains auteurs qui décrivent l'érosion comme une lèpre qui ronge la terre jusqu'à ne laisser qu'un squelette blanchi : les montagnes calcaires qui entourent la Méditerranée illustrent bien ce processus de décharnement des montagnes dès lors qu'on les défriche et que l'on brûle leur maigre végétation (ex. Grèce). En réalité, c'est un processus naturel qui certes, abaisse toute²s les montagnes mais en même temps, l'érosion engraisse les vallées, forme les riches plaines qui nourrissent une bonne partie de l'humanité. Il n'est donc pas forcément souhaitable d'arrêter toute érosion, mais de la réduire à un niveau acceptable ou tolérable. [4]

I.4 Facteurs influençant l'érosion :

En plus des factures géologiques et topographiques, plusieurs agents influent directement ou indirectement sur le processus de l'érosion des bassins versants.

La pluie torrentielle est l'agent principal du phénomène, l'irrégularité des pluies est liée à des intensités très élevées qui peuvent engendrer des pertes en sols considérables. La multiplicité des factures qui causent l'érosion exigent une prise de connaissance de leurs effets directs sur le processus de l'érosion. [5.6]

I.4.1 Influence du climat :

Le climat est un facteur important qui influe sur érosion hydrique par la nature des précipitations et des températures. Un climat agressif comme celui des régions arides

et semi-arides est caractérisé par des pluies de grandes intensités pendant un temps court, et de longues périodes de sécheresses. Les deux éléments accentuent remarquablement l'érosion, les températures élevées permettent d'assécher et de fissurer le sol qui augmente sa vulnérabilité à l'érosion et les fortes pluies viennent avec des énergies cinétiques élevées pour détacher et emporter un maximum de sol déjà très faible. [4]

1.4.2 Influence du sol :

Il est caractérisé par son type, sa texture et son état. En saison sèche, l'humidité du sol est presque nulle, ce qui favorise l'érosion hydrique lors des premières pluies. Il influe de même sur le ruissellement par ses capacités d'infiltration et de rétention. [7]

1.4.3 Influence des facteurs topographiques :

Les facteurs topographiques essentiels sont la pente du bassin versant, le relief, la densité de drainage, l'importance des vallées et des plaines d'inondation, l'orientation et la taille du bassin. Les fortes pentes avec un écoulement rapide sont généralement à l'origine d'une érosion excessive dont l'importance dépend de la géologie des sols et la protection du couvert végétal [8]

1.4.4 Influence des facteurs géologiques :

Ce sont les facteurs relatifs aux roches de surfaces. Si les roches sont exposées à la pluie, au vent et aux forces de gravité, il peut y avoir une désagrégation de la répartition granulométrique des sols, leur perméabilité, la présence de certains éléments chimiques et matières organiques conditionnent l'érodibilité des sols. [8]

1.4.5 Influence du couvert végétal :

Un bon couvert végétal limite l'érosion en dissipant l'énergie de pluie. Il favorise l'infiltration et s'oppose à toute forme d'érosion. [8]

1.4.6 Les labours inadaptés :

Le travail du sol présente deux effets antagonistes vis-à-vis de l'érosion hydrique. D'une part, il limite l'érosion en augmentant la perméabilité et la capacité de rétention du sol, et d'autre part, il favorise en diminuant la cohésion et la stabilité structurelle du sol

pour les faibles pluies (ou la première phase des grosses pluies). Un labour bien fait limite considérablement le phénomène de l'érosion hydrique. [8]

I.5 Types d'érosion :

Il existe trois types d'érosion :

I.5.1 L'érosion éolienne :

Le vent exerce sur les particules solides au repos une pression sur la surface exposée au flux d'air, appliquée au-dessus du centre de gravité, auquel s'oppose un frottement centré sur la base des particules. Ces deux forces constituent un couple tendant à faire basculer et rouler les particules lourdes (0,5 à 2 mm), de plus, la différence de vitesse entre la base et le sommet des particules provoque leur aspiration vers le haut. Les particules les plus légères s'élèvent à la verticale jusqu'à ce que le gradient de vitesse ne les porte plus. Elles retombent alors, poussées par le vent, suivant une trajectoire sub-horizontale. En retombant, ces grains de sable transmettent leur énergie à d'autres grains de sable (comme dans un jeu de boules) ou se dégradent les agrégats limono-argileux en dégageant de la poussière [9].



Figure I.1. érosion éolienne [9]

L'érosion éolienne prend de l'importance en Afrique de l'Ouest dans les zones tropicales sèches, là où la pluviosité annuelle est inférieure à 600 mm, où la saison sèche s'étend sur plus de six mois et où la végétation de type steppique laisse de larges plaques de sol dénudé. Ailleurs, elle peut aussi se développer dans des conditions de préparation du sol qui amènent une pulvérisation importante des matériaux superficiels secs. [10]

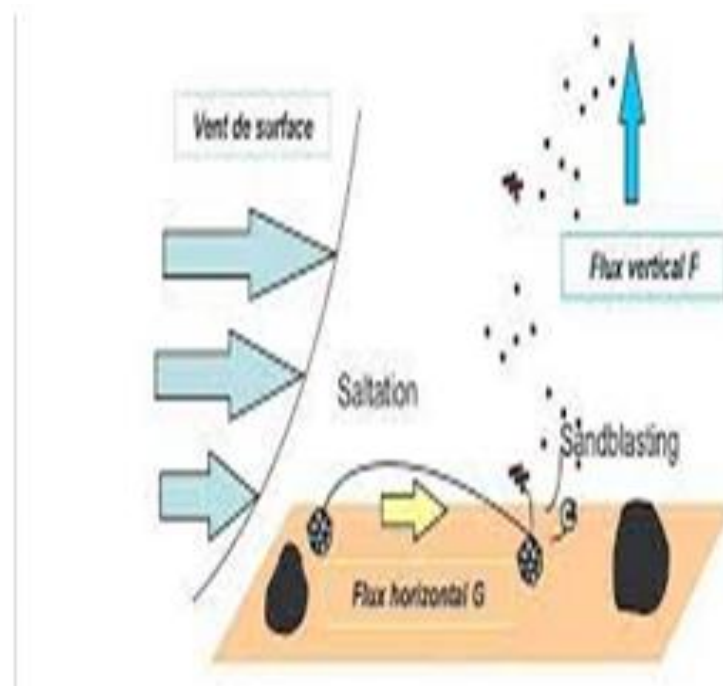


Figure I.2 . mode d'érosion éolienne [8]

1.5.2 L'érosion aratoire :

Ce phénomène d'érosion n'est pas dû à l'intervention de l'eau, c'est le travail du sol qui arrache les particules, les transporte et les dépose soit en bas de parcelle, soit en talus. [1]

1.5.2.1 Facteurs d'érosion mécanique :

Les facteurs influençant la quantité de terre déplacée sont :

- Le type d'outil ;
- La fréquence des passages ;
- La pente, plus la pente est forte plus les mottes de terres détachées, roulent vers le bas ;

C'est ce qui explique que les sommets des collines sont souvent décapés. [9]

1.5.2.2 L'orientation du travail du sol :

Celui-ci peut être orienté soit en courbes de niveaux, soit du haut de la parcelle vers le bas (Ce qui est le cas pour les tracteurs travaillant sur des pentes supérieures à 15 %), soit du bas de la parcelle vers le haut (pour le travail manuel notamment). Il est très rare que la terre soit remontée par les outils. Par contre, il arrive qu'en montagne et dans les zones où la terre est rare, que l'on récupère mécaniquement ou dans des petits paniers de la terre dans la plaine pour la remonter dans la montagne, c'est le cas sur les vignes. On constate aussi que l'aller et le retour des outils peuvent réduire considérablement la vitesse du décapage par l'érosion mécanique sèche.[6]

1.5.3 L'érosion hydrique :

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules du sol. Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt. [3]

1.5.3.1 Origine et mécanisme de l'érosion hydrique :

La pluie et le ruissellement superficiel sont à l'origine de l'arrachage du transport et du dépôt de la terre enlevée.

L'arrachage est dû à la fois aux gouttes d'eau (par rejaillissement) et aux eaux de ruissellement, dont le transport est assuré par elles.[3]

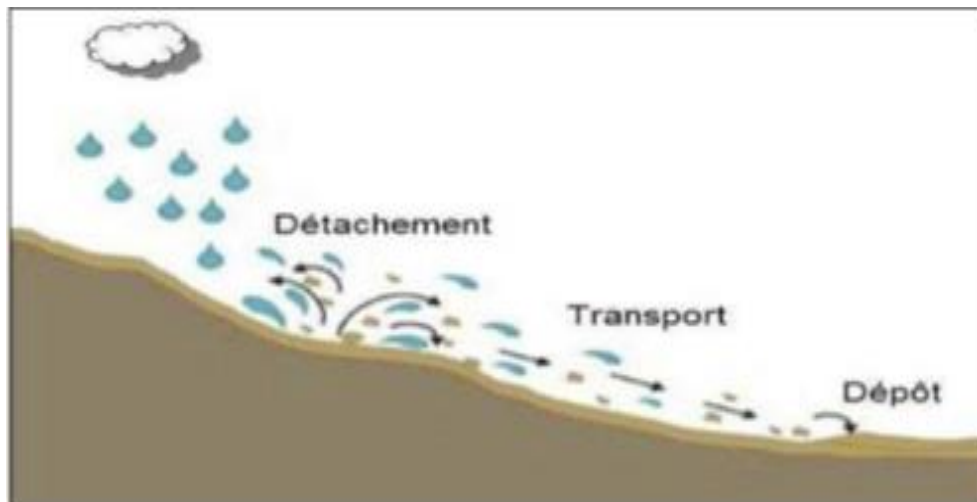


Figure I.3 . Processus de l'érosion hydrique [11]

Les principaux mécanismes conduisant à l'érosion hydrique sont :

a) Le détachement :

➤ L'humectation par l'effet de l'impact des gouttes de pluies :

Les quatre processus qui peuvent être identifiés comme responsables de la désagrégation sont :

- L'éclatement, correspondant à la désagrégation par compression de l'air piégé lors de l'humectation (Fig. I-4). L'intensité de l'éclatement dépend entre autres, du volume d'air piégé, donc de la teneur en eau initiale des agrégats et de leur porosité. [7]

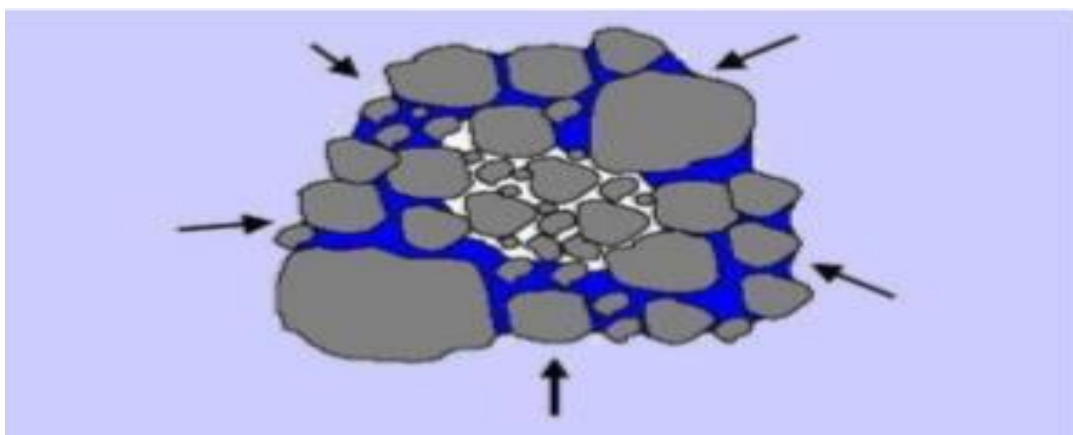


Figure I.4 . Éclatement des agrégats [7]

- Le gonflement différentiel. Ce phénomène intervient suite à l'humectation et la dessiccation des argiles, entraînant des fissurations dans les agrégats. L'importance de ce mécanisme dépend en grande partie de la teneur et de la nature de l'argile des sols. - La dispersion physico-chimique. Elle correspond à la réduction des forces d'attraction entre particules colloïdales lors de l'humectation. Elle dépend de la taille et la valence des cations (particulièrement du sodium) pouvant lier les charges négatives dans le sol. [7]
- La désagrégation mécanique sous l'impact des gouttes de pluie (Détachement par splash) (Fig. I.5). L'impact des gouttes de pluie peut fragmenter les agrégats et surtout détacher les particules de leur surface. [7]

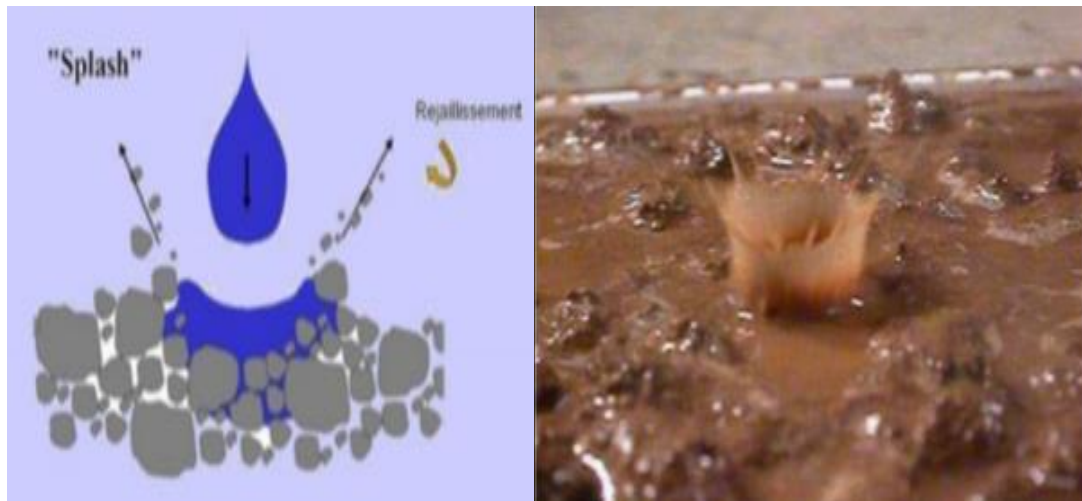


Figure I.5. Détachement par splash [7]

- **Le ruissellement :**

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent sur la parcelle en emportant les particules de sols. Ce refus du sol d'absorber les eaux apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe. [11]

Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents. [11]

Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace pouvant donner naissance à une érosion diffuse et/ou à une érosion concentrée. [11]

Il est donc à noter qu'il y a détachement par ruissellement (Fig. I.6) lorsque la force de friction de l'eau sur les particules du sol est supérieure à la résistance du sol au cisaillement comme schématisé sur la figure ci-après. [11]

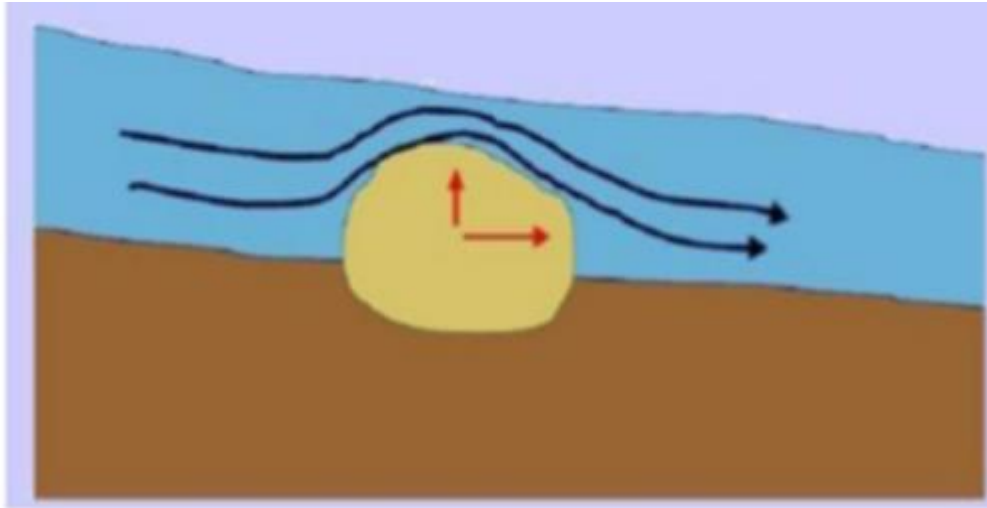


Figure I.6 . Détachement par ruissellement [11]

a) Transport des particules :

Le vecteur de transport est ici le ruissellement superficiel. Il est généré soit par saturation de la porosité du sol (mécanisme de Dune), soit par refus à l'infiltration dû à une pluie dont l'intensité est supérieure à la capacité d'infiltration de la surface du sol (mécanisme d'Horton) [12]. Ce phénomène est donc dépendant du type de pluie et de sol.

Plusieurs auteurs ont signalé que la génération du ruissellement est influencée par l'état de surface du sol [13]. D'autres auteurs ont montré que les variations de ruissellement et d'érosion dépendent des changements du couvert végétal et de la gestion des utilisations de la terre [14].

Le ruissellement sur les versants prend des formes variées. Il est d'abord diffus, très peu épais et étendu sur de grandes surfaces (ruissellement en nappe), plus à l'aval il s'organise en se concentrant dans des rigoles qui peuvent devenir des ravines pérennes. Les propriétés de l'écoulement, volume ruisselé, hydraulique et distribution spatiale, sont aussi fortement dépendantes de la rugosité de la surface [15]. Le ruissellement a un rôle déterminant dans le transport du matériel mobilisé mais également dans le détachement

des particules. En l'absence de ruissellement, les particules de sol détachées par la pluie ne sont pas transportées très loin. Les principales variables qui contrôlent l'action du ruissellement sur le détachement et le transport de particules sont la pente, la vitesse et l'épaisseur de l'écoulement [16].

L'écoulement de l'eau sur le sol exerce une action cisailant sur les grains de surface qui est d'autant plus forte que la vitesse du courant est importante. Le sol quant à lui offre une résistance au détachement de ses grains superficiels qui peut être assimilé à une sorte de résistance eau cisaillement. [17]

La vitesse à laquelle les grains sont enlevés par l'écoulement dépend de la dimension de ces grains. C'est la vitesse dite critique, qui est relativement élevée pour les grains de très faibles dimensions car leur cohésion est très forte. Si la dimension des grains s'accroît, la vitesse critique décroît, jusqu'à un seuil (estimé par Hjulström) de 0,2 mm à partir duquel la vitesse nécessaire à l'arrachage s'accroît à nouveau (Fig. I.7).

Une fois arraché, le grain peut être transporté, même avec des vitesses d'écoulement inférieures, à condition toutefois que ces vitesses ne deviennent pas inférieures à la vitesse limite pour la sédimentation des grains qui elle dépend directement de la taille des particules.

Dès que les particules sont érodées du sol ou arraché au lit de l'oued et transportées dans les cours d'eau, on parle de transport solide. Deux grands modes de transport des particules peuvent être distingués (Fig. I.8) : le transport de fond et le transport en suspension [17].

Pour une taille de grain donnée, le mode de transport est fixé par les conditions hydrauliques de la rivière : lorsque la force de cisaillement à la base de l'écoulement d'eau dépasse le seuil critique de cisaillement, les particules commencent à se déplacer sur le fond de la rivière par roulement, glissement ou petits bonds. Lorsque les conditions hydrauliques deviennent turbulentes et que les fluctuations de vitesse verticale sont importantes, les particules peuvent être maintenues en suspension et passer peu de temps en contact avec le fond [18]. Les particules se trouvent emportées par l'eau tant que la vitesse d'écoulement reste supérieure à la vitesse limite de maintien en suspension (dépendant de leur granulométrie). Dans le cas contraire, on observe une décantation et une sédimentation des matériaux. Les matières en suspension sont des particules de

petites tailles : argiles, limons et sables, qui physiquement peu figure I.7. Diagramme de Hjulström vent être transportées sur de longues distances. [19]

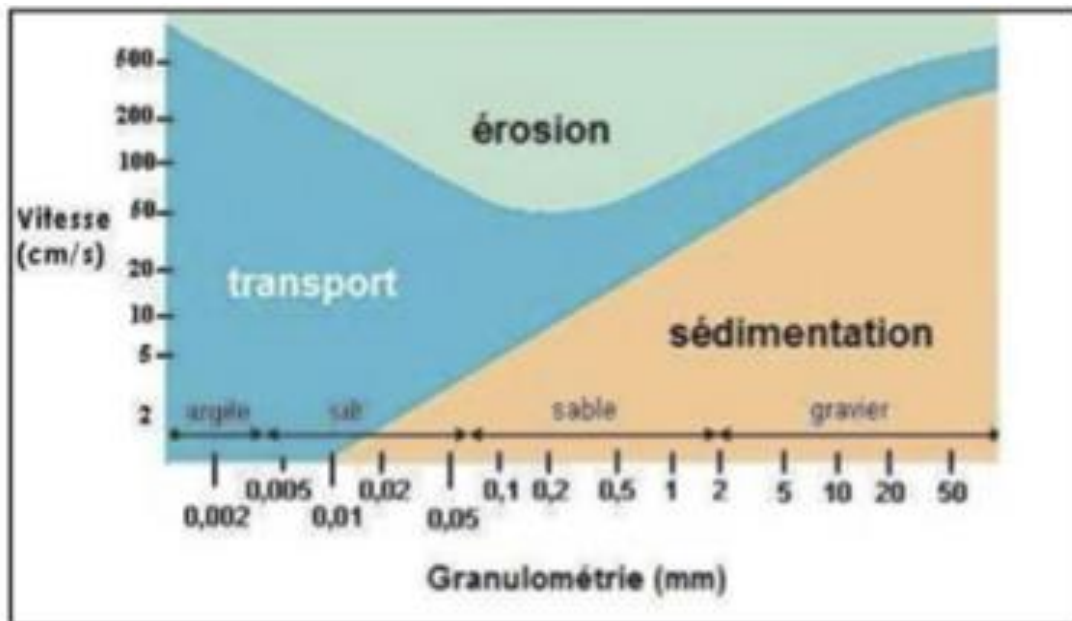


Figure I.7 . Diagramme de Hjulström [2]

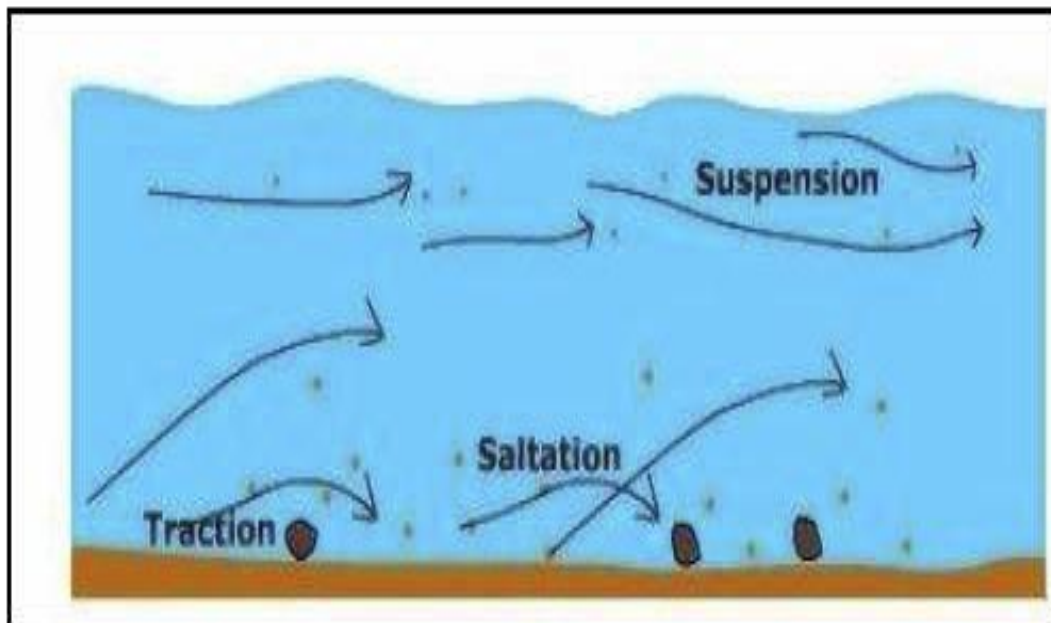


Figure I.8. Mode de transport solide [2]

b) La sédimentation :

C'est l'étape finale de l'envasement des retenues, à l'état naturel les oueds transportent progressivement des quantités importantes de sédiments, soit par charriage soit en suspension, les eaux chargées de matériaux fins forment un courant de densité qui s'écoule sur le long de la retenue et transporte ainsi la vase jusqu'au pied du barrage. Dans ce trajet, les sédiments se déposent, des plus grandes aux plus petites, de l'amont vers l'aval de la retenue (Ben Aicha)

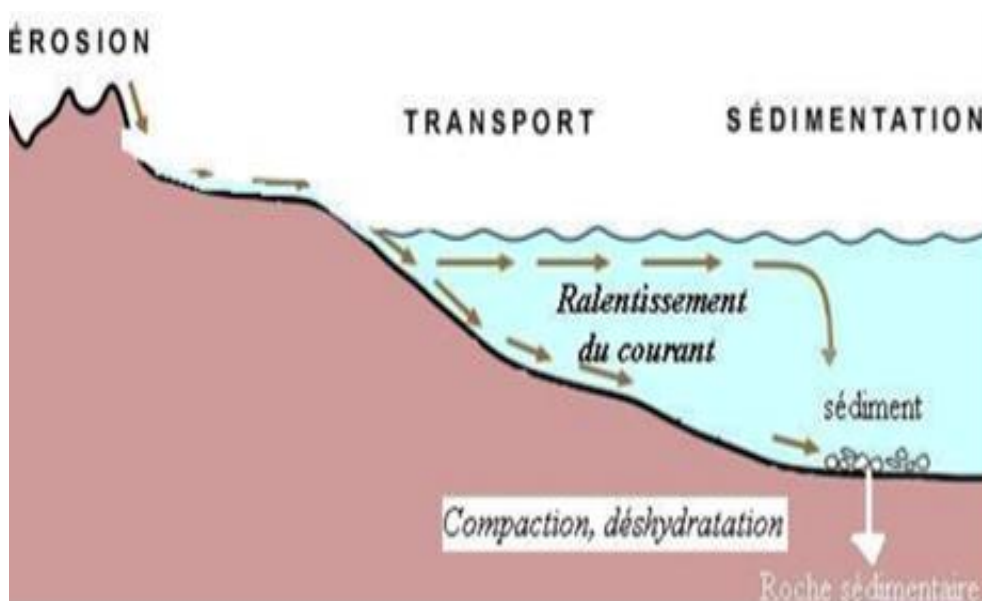


Figure I.9 . mode d'envasement du barrage [3]

1.5.3.2 Forme de l'érosion hydrique :

➤ *Érosion en nappe :*

L'érosion en nappe est liée à deux mécanismes (Fig. I.10) : détachement des particules de terre causé par le choc de gouttes des pluies (effet splash) ; le ruissellement superficiel lorsque l'intensité de la pluie devient supérieure à la vitesse d'infiltration (ruissellement Hortonien).[19]

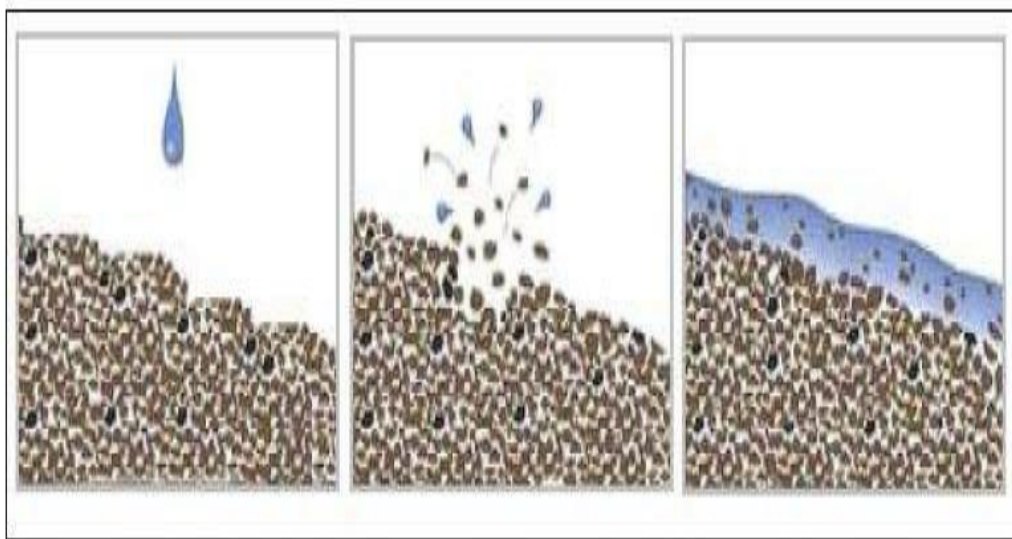


Figure I.10 . L'érosion en nappe [19]

L'érosion en nappe provoque l'enlèvement plus ou moins uniforme d'une mince couche ou "nappe" de sol, parce que l'énergie des gouttes de pluie s'applique à toute la surface du sol et le transport des matériaux détachés s'effectue par le ruissellement en nappe. C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion.[29]

L'érosion en nappe entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface. De ce fait elle est peu visible d'une année à l'autre puisqu'une érosion importante de 15 à 30 t.ha-1.an-1 correspond à une perte de hauteur de 1 à 2 mm. Elle se manifeste sur le terrain par la prépondérance de taches de couleur claire, témoignage d'un lessivage aussi bien de la matière organique que des particules fines et aussi par la dégradation des mottes et la formation de diverses croûtes.[2]

➤ Érosion linéaire:

Lorsque l'intensité des pluies dépasse la capacité d'infiltration de la surface du sol, il se forme d'abord des flaques, ensuite ces flaques communiquent par des filets d'eau et lorsque ces filets d'eau ont atteint une certaine vitesse, 50 cm par seconde d'après Hjulström (1935), ils acquièrent une énergie propre qui va créer une érosion limitée dans l'espace au niveau de lignes d'écoulement (Fig. I.6). Lorsque le ruissellement est ainsi concentré, la vitesse augmente, l'érosion n'est plus sélective et creuse des rigoles et des ravines.[19]

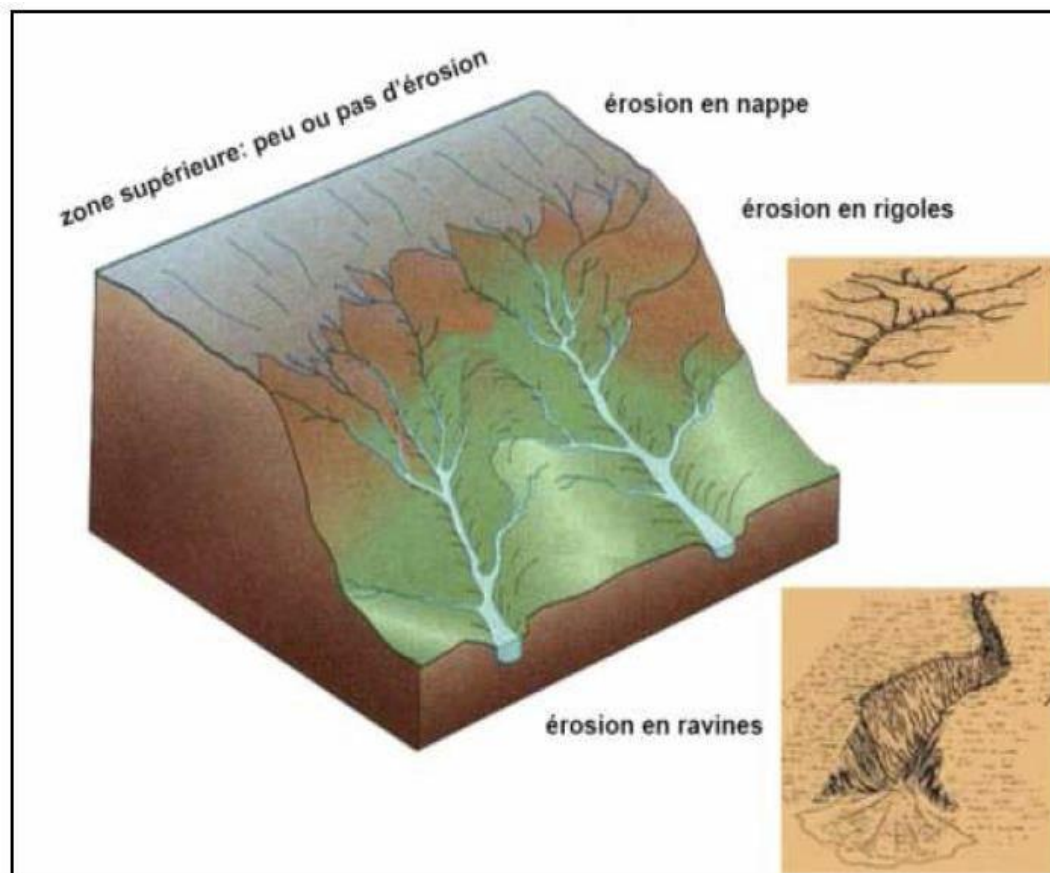


Figure I.a.11. Principaux types de l'érosion hydrique [19]

L'érosion linéaire provoque donc un décapage total de l'horizon humifère et de l'ensemble des matériaux meubles sur la largeur concernée par les chemins de l'eau. On parle de griffes, lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur, de rigoles, lorsque les canaux dépassent 10 cm de profondeur et de ravines lorsque les creux atteignent plusieurs dizaines de cm (plus de 50 cm).[2]

- a) Érosion en masse : Alors que l'érosion en nappe s'attaque à la surface du sol, le ravinement aux lignes de drainage du versant, les mouvements de masse concernent un volume à l'intérieur de la couverture pédologique. [29]

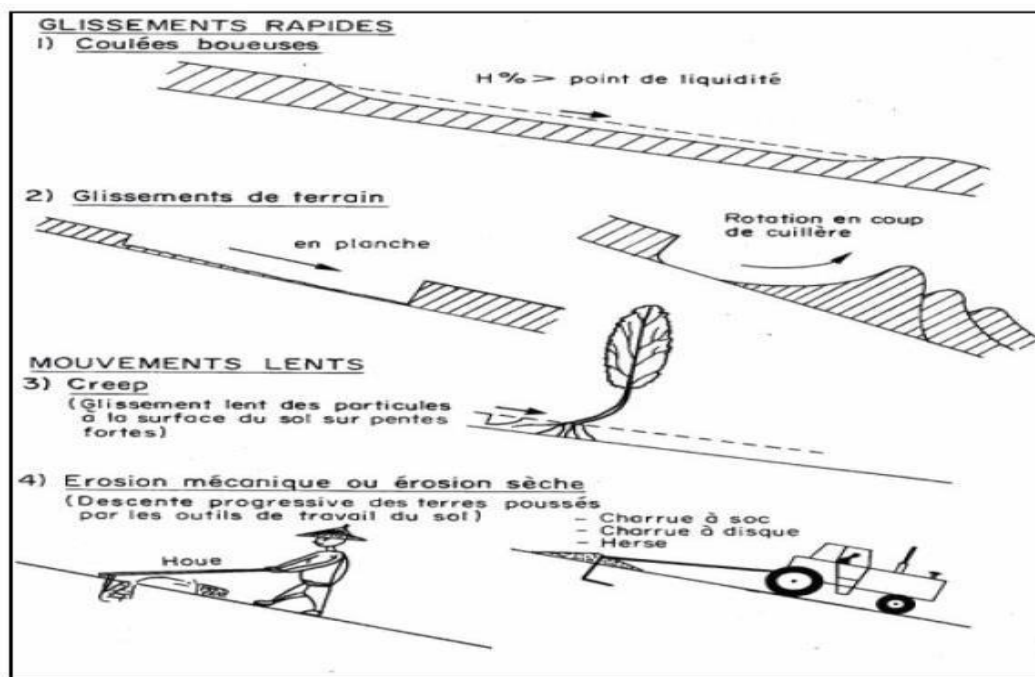


Figure I.12 . Les formes d'érosion en masse [29]

I.6 Causes et des conséquences de l'érosion des sols :

I.6.1 Les Causes :

- La texture des sols est un des facteurs principaux de l'érosion des sols. Les sols limoneux sont très propices à la battance, phénomène qui les rend imperméables et qui augmente le ruissellement des eaux. [21]
- L'agrandissement des parcelles agricoles suite aux nombreux remembrements accroît les risques d'érosion des sols en créant des conditions favorables au ruissellement des eaux (augmentation de la vitesse d'écoulement des eaux notamment).[21]
- La diminution des surfaces toujours en herbe participe au phénomène d'érosion des sols. Les prairies assurent un couvert permanent qui tamponne efficacement les eaux de ruissellement. [21]
- La disparition des fossés qui accompagne souvent l'agrandissement des parcelles exacerbe le problème d'érosion des sols. Les fossés permettent de maîtriser la circulation des eaux de ruissellement et d'éviter leur accumulation sur les parcelles agricoles. [21]

- La destruction du maillage bocager, telles les haies ou les talus a souvent accompagné les anciens remembrements agricoles. Ces éléments paysagers jouent pourtant un rôle primordial dans la gestion des eaux et représentent des obstacles naturels au ruissellement des eaux sur un versant. [22]
- Les traces de roues générées par des passages d'engins répétés et des outils non adaptés (pneumatiques par ex.) créent des chemins préférentiels pour les eaux de ruissellement, augmentent les risques d'accumulation sur la parcelle et donc de formation de ravines. [22]
- Le labour parallèle à la pente accroît fortement la vitesse de ruissellement des eaux.
- Les sols laissés nus l'hiver favorisent l'érosion des sols en diminuant les capacités d'infiltration des sols. [21]
- Une urbanisation mal maîtrisée augmente l'imperméabilisation des sols et donc les vitesses de ruissellement des eaux. Les constructions dans les zones à risques de coulées de boue et d'inondations doivent parfois supporter des dégâts matériels importants. [22]

I.7 Les conséquences :

- L'érosion des sols qui peut se manifester par la formation de ravines et provoquer des coulées de boues sur la voirie et dans les villages. [21]
- La rivière brune chargée en limons provenant des versants. La qualité de l'écosystème s'en trouve dégradée (colmatage des frayères, diminution de l'oxygène dissout nécessaire à la vie aquatique etc.) [21]
- L'augmentation des crues des rivières avec l'arrivée massive des eaux de ruissellement provenant du bassin versant. [9]

I.8 Conclusion :

Le phénomène d'érosion est une partie de l'évolution géologique du paysage sous l'effet de l'eau, du vent. L'érosion de la surface du globe s'est poursuivie à travers les âges. L'entraînement, le transport et le départ des matériaux sont des phénomènes naturels visibles en tout temps et tout lieu. Les agents de l'érosion considérés comme les plus efficaces sont la pluie, les écoulements et le vent.

L'action des vagues, du gel et des glaciers est limitée à des régions d'étendue restreinte, mais elle est importante dans les zones côtières et dans les régions glaciaires. Le phénomène de l'érosion hydrique commence avec l'impact de la goutte de pluie initiale. Cela occasionne de nombreux dégâts environnementaux et aura de grosses répercussions sur nos activités.

Chapitre II

Description de la région d'étude

chapitre II : Description de la région d'étude

II.1 Introduction :

Ce chapitre donne une description générale du bassin versant étudié .premièrement nous donne une notion du bassin versant puis Situation géographique du bassin Caractéristiques physiques hydrographique Caractéristiques morphométriques .

II.2 Notion du bassin versant :

Le bassin versant est la surface réceptrice des eaux précipitées qui alimentent une nappe souterraine, un lac, une rivière ou un réseau complexe ; on le définit par sa morphométrie, ses caractères climatiques, sa géologie, sa végétation, ses sols. [23]

Plus précisément, le bassin versant qui peut être considéré comme un " système " est une surface élémentaire hydrologiquement close, c'est-à-dire qu'aucun écoulement n'y pénètre de l'extérieur et que tous les excédents de précipitations s'évaporent ou s'écoulent par une seule section à l'exutoire. [11]

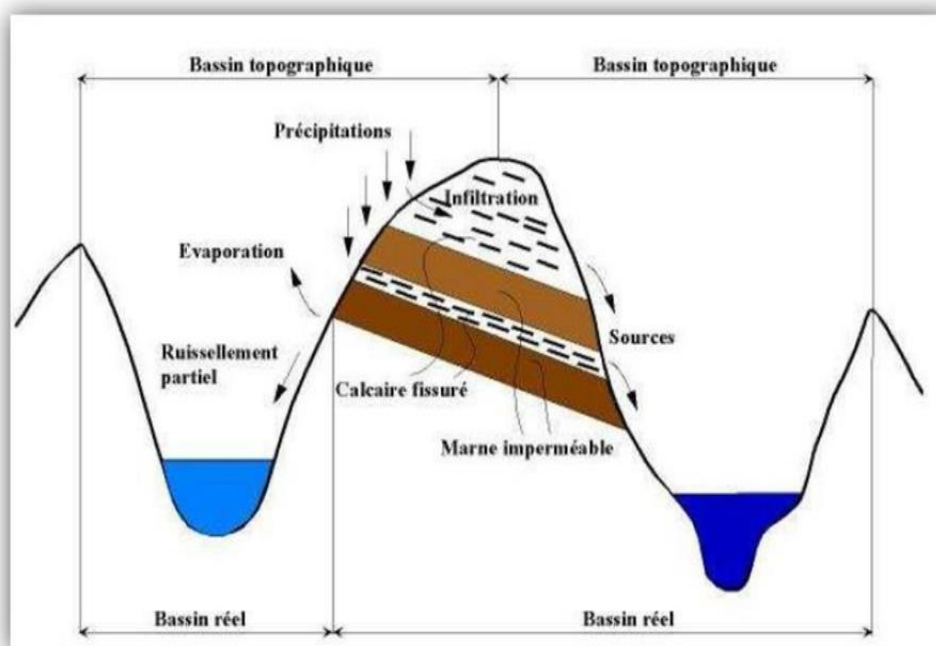


Figure II .II.1 . Distinction entre bassin versant réel et bassin versant topographique [24]

II.3 Situation géographique du bassin versant de Boussellam (Soummam) :

Le sous bassin versant de Boussellam appartient au grand bassin de la Soummam (15) qui est situé dans la partie centrale au Nord de l'Algérie (Fig. II-2.). [7]



Figure II.2 . Carte des grands bassins versants d'Algérie [25]

- Grands bassins versants d'Algérie

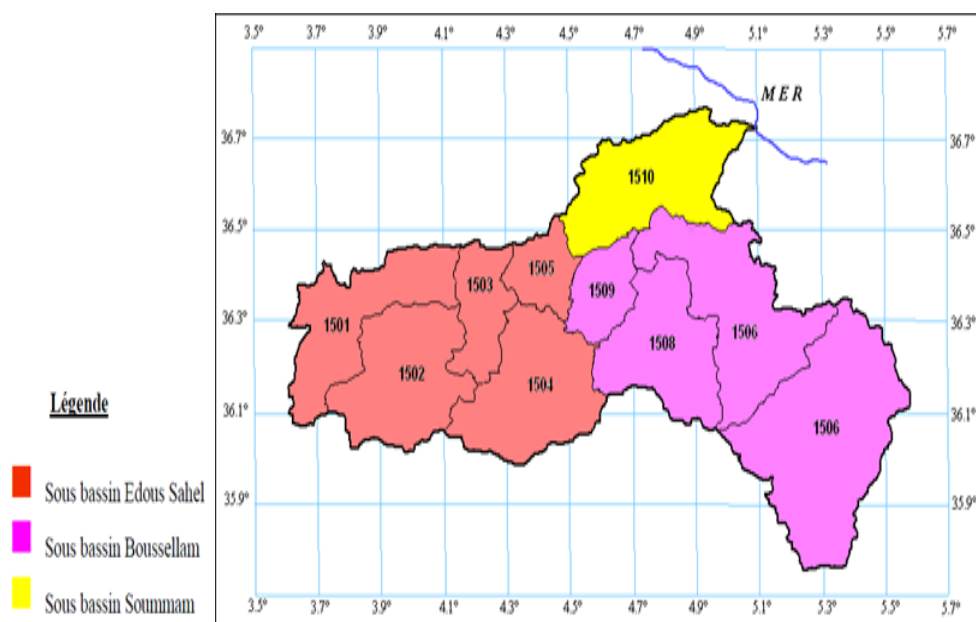


Figure II.3 . Les grands sous bassins versants de la Soummam [26]

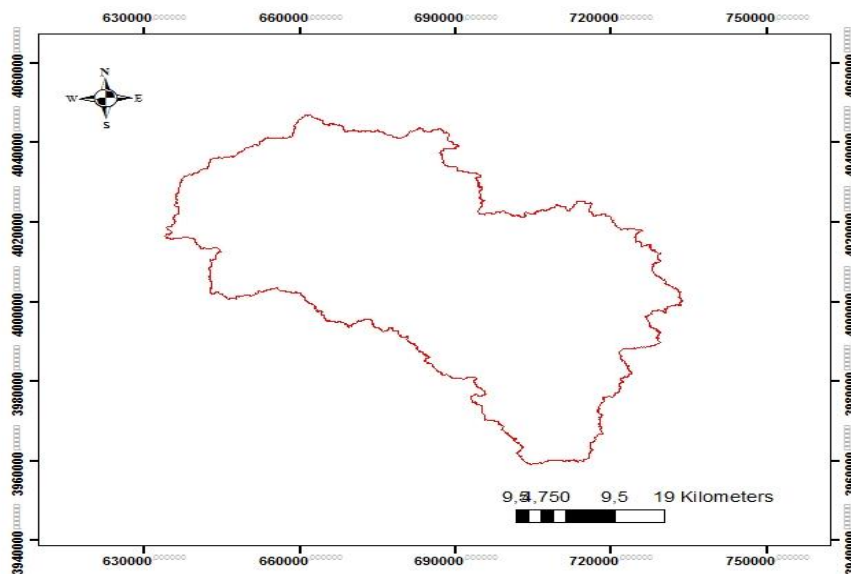


Figure II.4 . Délimitation du sous bassin versant de Boussellam

Le sous bassin versant de Boussellam est constitué à son tour de quatre (04) sous bassins (1506,1507, 1508, 1509). Ce sous bassin prend sa source au Djebel Meghris au Nord de Sétif et draine l'eau vers l'Oued Soummam sur une longueur d'environ 129 Km.

L'oued Boussellam représente le principal axe hydrographique de Sétif. Il constitue avec l'Oued Sahel à l'Ouest, l'un des deux principaux affluents de la Soummam ; il draine 54,9 % de la superficie totale du bassin à la mer [27]. La Superficie du bassin versant est d'environ 4151 km², avec une longueur de 129 km et un volume régularisable annuellement de près de 38 Hm³. Il est constitué par la réunion de l'Oued Gassar qui longe le piémont sud du Djebel Meghris (Altitude 1737 m) et l'Oued Ouricia qui se trouve dans la partie sud de ce Djebel [28].

Il prend sa source à une altitude de 1100 m environ à cinq kilomètres au Nord-ouest de la ville de Sétif. Il s'étale approximativement entre les longitudes : 5° 20' 00'' et 5° 25' 00'' Est et 36° 10'00" et 36°15'00" Nord. L'Oued Boussellam passe par plusieurs agglomérations dans la région Nord de Sétif (Bougaâ, Hammam Gergour, Oued Sebt, Charchar et Béni Ourtillene) et la région Sud (Farmatou, Sidi el khier, Mezloug et Hammam Ouled Yelles). Historiquement, cet Oued a de tout temps était considéré comme un milieu humide de premier

plan par les riverains et notamment par les habitats de la ville de Sétif. Il était exploité aussi bien pour la baignade, la pêche, le loisir et même les villégiatures [28].

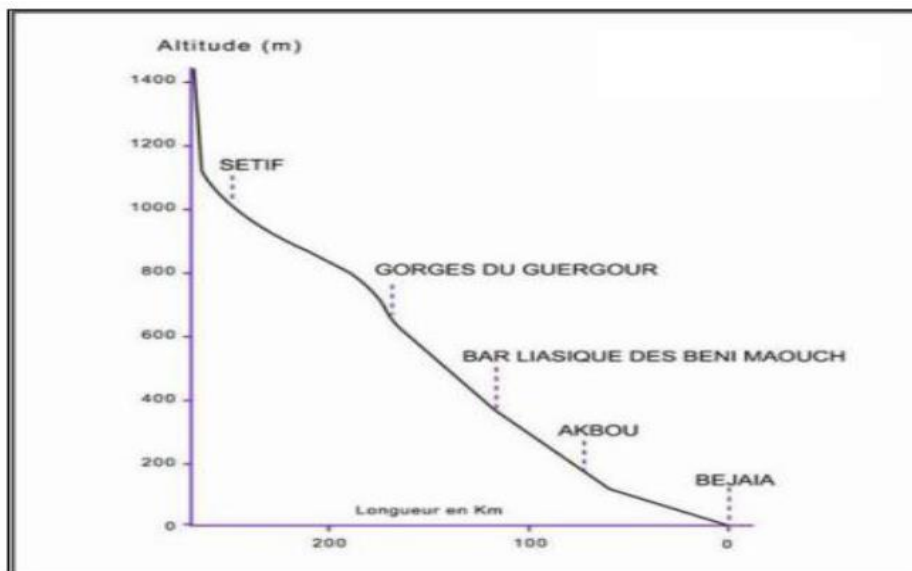


Figure II.5. Profil en long de l'Oued Boussellam - Soummam [27]

II.4 Caractéristiques physiques :

II.4.1 Cadre géologique du bassin versant de l'Oued Boussalem :

La géologie du bassin d'Oued Boussellam a été étudiée en se référant aux anciens travaux géologiques : La carte géologique de Sétif au 1/50 000, la carte géologique de l'Algérie au 1/500.000.00. L'Oued Boussellam s'étend sur des roches calcaires appartenant au Quaternaire [29]. Du point de vue lithologique, on distingue des roches calcaires appartenant au quaternaire, des apports d'alluvions récentes constituées de dépôts quaternaires d'origine calcaire lacustre, et des croutes villafranchiennes avec horizon caillouteux sphéroïdes. Le Mio-pliocène montre la présence des dépôts fluvio-lacustres offrant habituellement une coloration rougeâtre, assez prononcée, constitués de sables, graviers limon et argiles.

Le lit de l'oued est limité par les formations telliennes qui sont surtout représentées par des unités supérieures à matériel éocène et se localisent sur les versants Sud-ouest de Djebel Megress en plus de l'éocène moyen et supérieur formé par des marnes noires, brunes et grises. Le Sud de la carte géologique de Sétif est constitué par la nappe de Djemila composée de calcaire bitumineux blanc à cassure noire et silex noir.

Au Nord, on trouve des formations calcaires constituées de roches marneuses noirâtres et de calcaire massif gris, blancs ou noirs (Fig.II.6) [26].

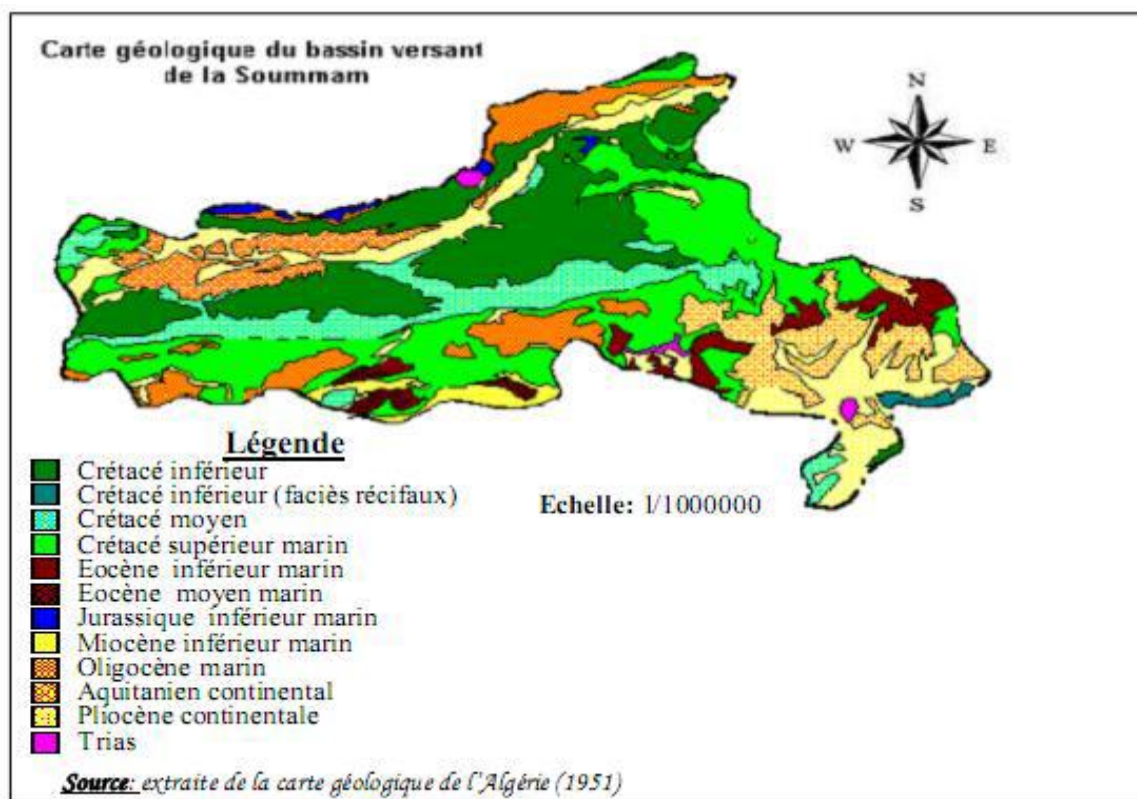


Figure II.6 . Carte géologique du bassin versant de la Soummam [26]

II.4.2 Les sols :

La carte des sols du bassin de la Soummam a été extraite de la carte des sols de l'Algérie au 1/500.000e faite par J. Durand en 1954. La numérisation de cette carte est présentée dans la figure II.07. [30]

La majorité des sols dans le bassin de la Soummam sont des sols calcaires (riches en calcaire). Leur complexe absorbant est modifié par l'eau d'une façon telle que H peut atteindre 20% de la capacité totale. Ces sols ont généralement une texture légère et sont donc perméables. Lorsque les matières organiques atteignent 25%, on est en présence de la variété humifère de ces sols, qui peuvent présenter alors une texture relativement lourde allégée par la présence des matières organiques. [30]

Au nord du bassin, on rencontre des sols insaturés qui ne contiennent pas de calcaire dont l'argile peut être plus abondante en surface qu'en profondeur ; leurs roches mères sont généralement imperméables ou donnent des produits de décomposition imperméables. [30]

Le long des oueds, les sols existants sont des dépôts alluviaux appelés sols alluviaux à profil indifférencié ou présentent une simple accumulation de matières organiques en surface. En outre on rencontre, en petites quantités, des sols calciques et des sols en équilibre peu épais, plus ou moins riches en calcaire et très pauvres en sels solubles. [30]

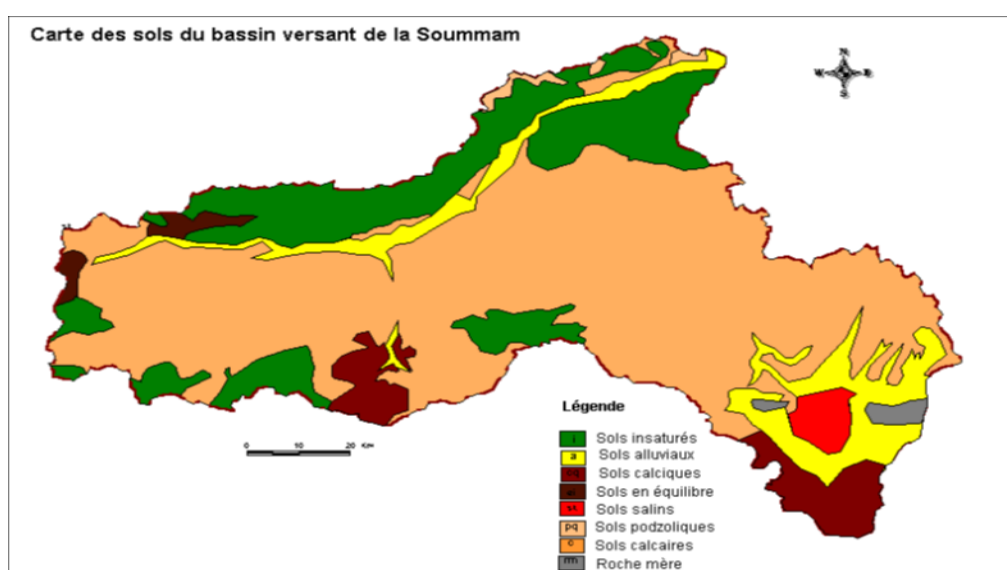


Figure II.7 . Carte des sols du bassin de la Soummam (Charifi S., 2006).

II.4.3 Couvert végétal :

La végétation est un paramètre physique important des bassins. Suivant sa nature, sa diversité et sa densité, le couvert végétal influence directement le cycle de l'eau au sein des bassins versants [7]. La répartition de la végétation est conditionnée essentiellement par le cadre morpho lithologique, le cadre climatique et l'activité anthropique. Les zones sous influence maritime présentant un substrat de formations calcaires et gréseuses constituent un relief massif et difficilement accessible par endroit, sont couvertes par des forêts denses ou claires ainsi que des maquis denses ou dégradés selon l'altitude et l'intensité de l'action anthropique. Cette situation est représentée essentiellement par les flancs Est et Sud-est du Djurdjura, la terminaison Ouest des Babor occidentaux. Les versants dominant la vallée de la

Soummam sont généralement couverts par un maquis dégradé où on constate l'intrusion de champs cultivés dans les milieux moins pentus. [27]

Le couvert végétal de la région d'étude est réduit. Il se résume à des surfaces recouvertes majoritairement d'herbes et quelques arbres d'eucalyptus, ce faible couvert végétal a considérablement favorisé le phénomène d'érosion du sol. [26]

II.5 Le réseau hydrographique :

Le bassin versant de la Soummam est très développé hydro graphiquement par ses divers cours d'eau. La majorité de ses eaux sont drainées par l'Oued de Boussellam et Oued Sahel qui se rencontrent près d'Akbou formant l'Oued Soummam (Fig. II-8).

En ce qui concerne les eaux souterraines, dans la grande partie de bassin versant de la Soummam, elles sont confinées dans des couches profondes et ne peuvent remonter en surface que par des courants ascendants [31]. Le réseau hydrographique du sous bassin Boussellam tracé par Arc Gis est représenté sur la

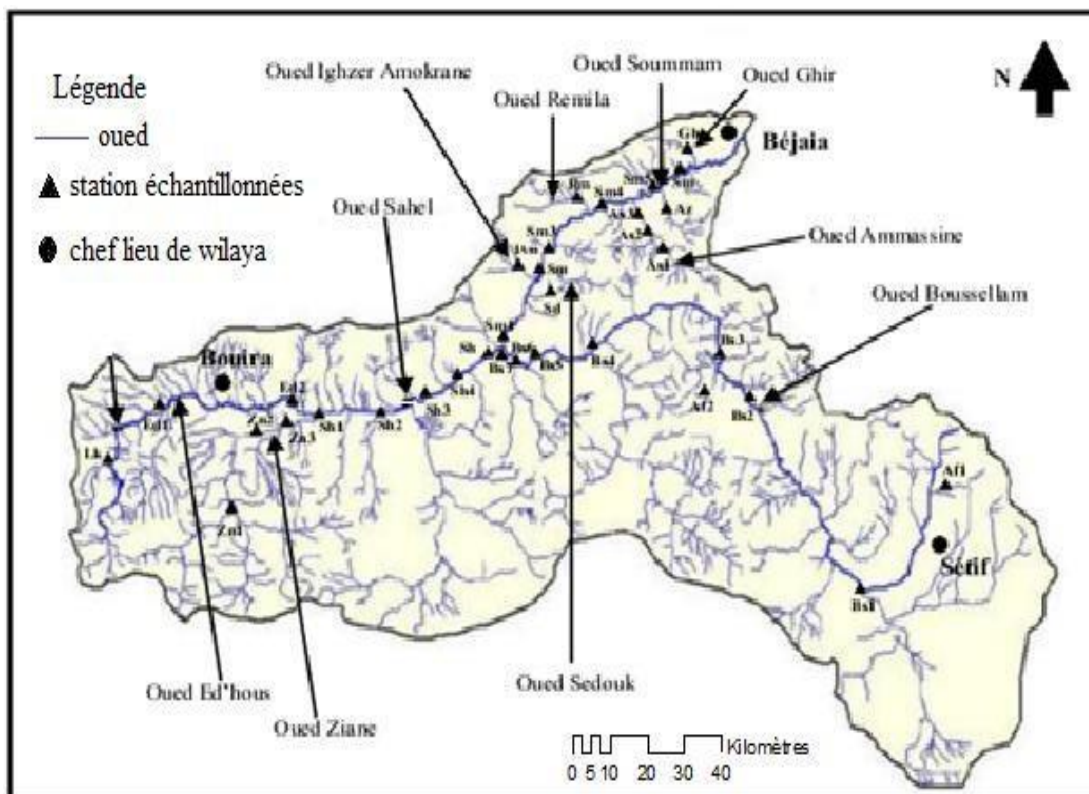


Figure II.8 . Réseau hydrographique du bassin Soummam [31]

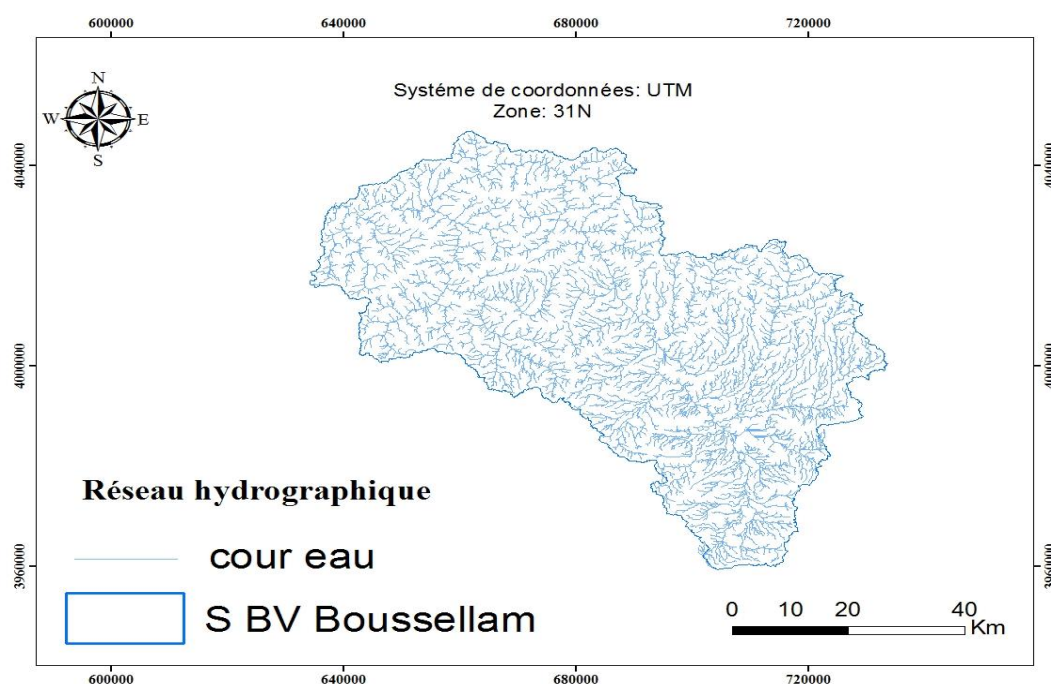


Figure II.9 . Réseau hydrographique du sous bassin Boussellam

II.5.1 Caractéristiques morphométriques :

Les paramètres morphologiques d'un bassin versant (forme, altitudes, pente, relief, etc.) jouent un rôle essentiel dans son comportement hydrologique. Ils ont l'avantage de se prêter à une analyse quantifiée qu'il convient de préciser autant que possible, dès le début de toute étude. La forme des bassins versant qui peut être traduite par l'indice de compacité de Gravelius a également une influence certaine sur l'écoulement [2].

Les différentes grandeurs déterminantes de la forme d'un bassin versant sont les suivantes :

II.5.1.1 La surface (A) :

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. La surface du bassin versant peut-être mesurée par superposition d'une grille dessinée sur papier transparent, par l'utilisation d'un planimètre ou par des techniques de digitalisation (logiciels Arc Gis, Global Mapper, MapInfo ...). La surface du bassin versant de Boussellam est de 4237.74 km².

II.5.1.2 Le périmètre :

Le périmètre représente toutes les irrégularités du contour ou de la limite du bassin versant. Il est exprimé en km. Le contour du bassin est constitué par une ligne joignant tous les points les plus élevés. Il n'influence pas l'état d'écoulement du cours d'eau au niveau du bassin versant. Le périmètre peut être mesuré à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par des logiciels cités précédemment. Le périmètre du B.V de Boussellam est de 421.41km.

II.5.1.3 L'indice de compacité de Gravelius :

Il est établi en comparant le périmètre stylisé du bassin considéré à celui d'un cercle ayant la même surface.

$$KG = 0.28 \frac{P}{\sqrt{S}} \quad (\text{II-1})$$

Avec : P : périmètre du bassin en (Km).

A : superficie du bassin en (Km²).

L'indice de forme KG est égal à l'unité pour un bassin circulaire, et croît d'autant plus que la compacité diminue.

II.5.1.4 Rectangle équivalent :

La notion de rectangle équivalent permet de ramener la forme quelconque d'un bassin versant à une forme rectangulaire ayant la même superficie, le même périmètre et le même indice de compacité.

Elle est introduite pour pouvoir comparer des bassins entre eux du point de vue de l'influence de leurs caractéristiques géométriques sur l'écoulement.

Il est défini par sa longueur "L" et sa largeur "l" et par la même surface du bassin versant "S".

Les dimensions de ce rectangle sont données par les formules suivantes :

- La longueur :

$$L_r = \frac{KG\sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG} \right)^2} \right] \quad (\text{II-2})$$

- La largeur :

$$l_r = \frac{KG\sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1.12}{KG} \right)^2} \right] \quad (\text{II-3})$$

Avec :

L_r : Longueur du rectangle équivalent en km

l_r : Largeur du rectangle équivalent en km

KG : Indice de compacité

A : Superficie du bassin versant en km².

II.5.1.5 Altimétrie et courbe hypsométrique :

La topographie du bassin joue un rôle très important en hydrologie, elle conditionne le ruissellement, l'infiltration et l'évaporation. Les résultats d'une telle application sont donnés dans les tableaux suivants. [7]

Les fréquences altimétriques sont représentées dans le Tableau (II-1) et par la courbe hypsométrique (Fig.II-10). Ces représentations montrent que la classe d'altitude supérieure (1600 – 1800 m) ne représente que 41.52 Km², soit environ 0.97 % de la surface totale du bassin. 48 % de la surface du bassin se trouve entre 800 et 1000 m d'altitude avec une surface de 2034.01 km².

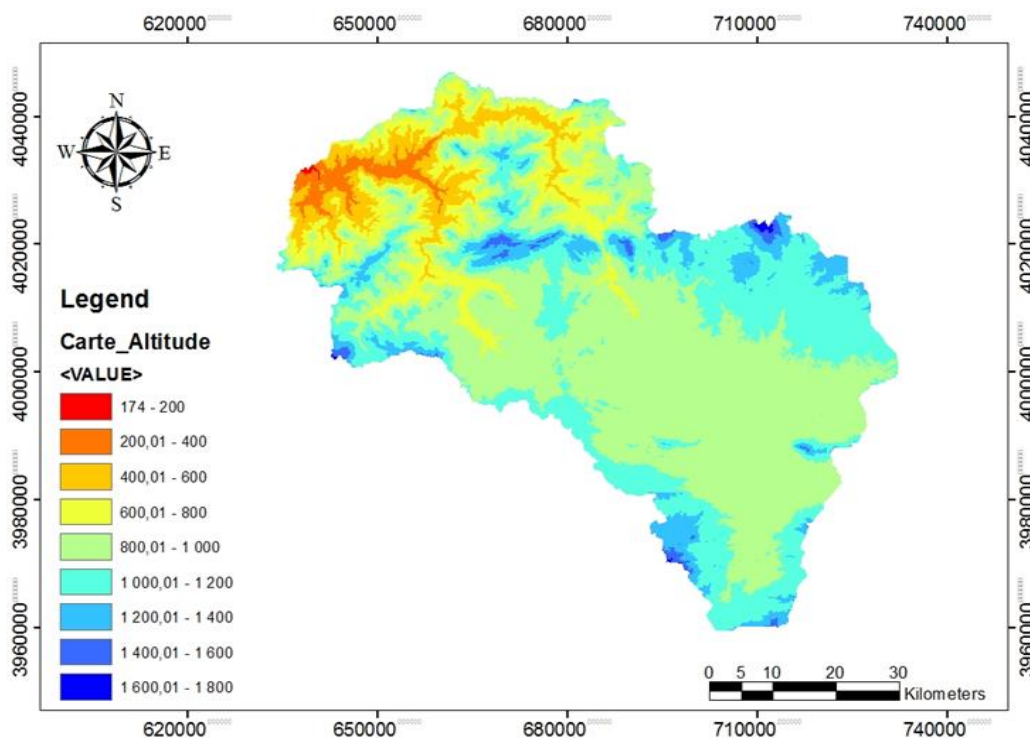


Figure II.10 . Carte des tranches d'altitude du bassin Boussellam

Tableau II.1 . Répartition des différentes tranches d'altitude

Tranche d'altitude	Surface (km ²)	Surface (%)	Surface Cumulée (%)	Surface Cumulée (km ²)	Altitude (m)
174 - 200	2,05	0.05	0.05	2.05	174
200 - 400	81,62	1.93	1.98	83.67	200
400 - 600	234,33	5.53	7.51	318	400
600 - 800	457,86	10.81	18.32	775.86	600
800 - 1000	2034,01	48	66.32	2809.87	800
1000- 1200	1085,65	25.62	91.94	3895.52	1000
1200 - 1400	263,92	6.2	98.14	4158.44	1200
1400- 1600	37,78	0.89	99.03	4196.22	1400
1600 - 1800	41,52	0.97	100	4237.74	1600

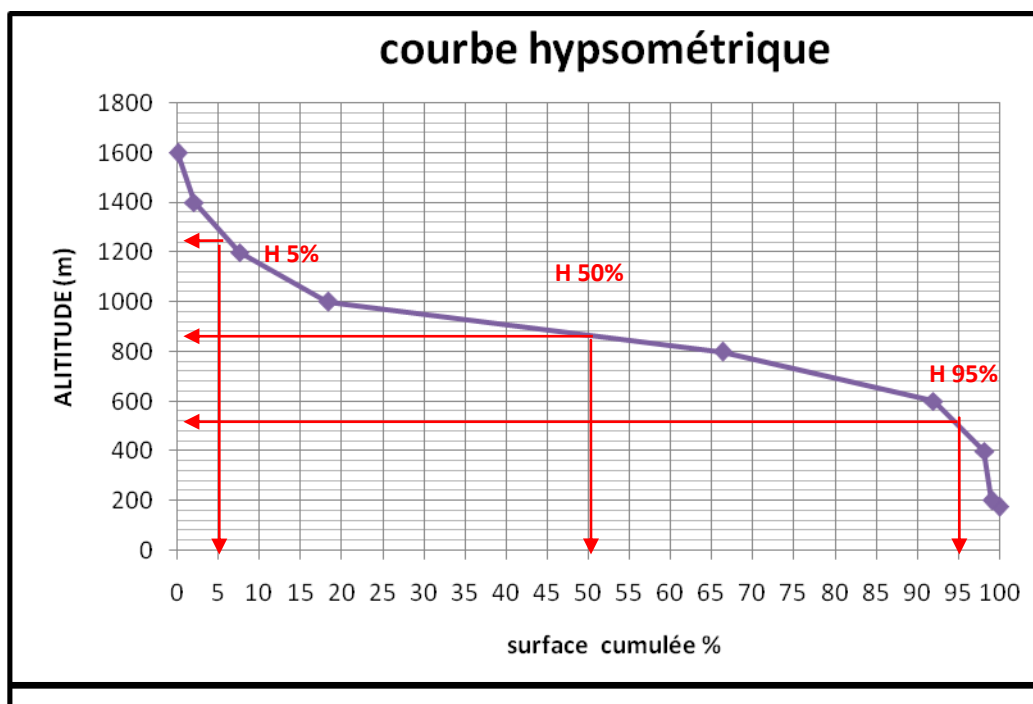


Figure II.11 . Courbe hypsométrique du bassin versant Boussellam

II.5.1.6 Dénivelée simple (D) :

Sur la courbe hypsométrique tracée, on prend la distance verticale en (m), qui sépare les altitudes ayant 5 % et 95 % de la surface totale du sous bassin versant.

$$D = H_{5\%} - H_{95\%} \quad \text{II-4)}$$

II.5.1.7 Altitude moyenne (Hmoy) :

L'altitude moyenne est peu représentative de la réalité. Toutefois, elle est parfois utilisée dans l'évaluation de certains paramètres hydrométéorologiques ou dans la mise en œuvre de modèles hydrologiques. Elle se déduit directement de la courbe hypsométrique ou de la lecture d'une carte topographique. On peut la définir comme suit :

II.6 Indice de pente :

Le but de ces indices est de caractériser les pentes d'un bassin versant et de permettre des comparaisons et des classifications. [7] On trouve généralement :

$$H_{\text{moy}} = \frac{\sum(H_i A_i)}{A_t} \quad (\text{II-5})$$

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau (m)

A_i : Surface élémentaire comprise entre deux courbes de niveaux (Km2)

A_t : Surface totale du bassin (Km2).

II.6.1 Indice de pente globale (I_g) :

L'indice de pente globale est déterminé à partir de la courbe hypsométrique en éliminant les valeurs extrêmes, de manière à ne garder que 90 % de l'aire du sous bassin. Cet indice est calculé à l'aide de la formule suivante : [7]

$$I_g = \frac{D}{L_r} \quad (\text{II-6})$$

Avec : D : Dénivelée simple (m)

L_r : Longueur du rectangle équivalent (km) ;

$I_g < 0.002$ relief très faible

$0.002 < I_g < 0.005$ relief faible $0.005 < I_g < 0.010$ relief assez faible

$0.010 < I_g < 0.020$ relief modéré $0.020 < I_g < 0.050$ relief assez fort

D'après la classification du relief par L'ORSTOM (Office de Recherche Scientifique de Territoire d'Outre-Mer), I_g étant compris entre 2 et 5 m/km, le sous bassin Boussellam présente un relief faible. [7]

II.6.2 Dénivelée spécifique (DS) :

La dénivelée spécifique permet de se prononcer sur le relief suivant la classification d'ORSTOM (Tableau I). L'indice I_g décroît pour un même bassin, lorsque la surface augmente, il est donc difficile de comparer des bassins de taille différente, d'où la nécessité d'introduire le paramètre (DS). [7]

D'après la deuxième classification de l'ORSTOM, la dénivelée spécifique du bassin de Boussellam se trouve dans la classe R5, caractérisée par un relief assez fort. [7]

$$D_s = I_g * [A]^{0.5} \quad (\text{II-7})$$

Tableau II.2 . Classification de l'ORSTOM [33]

R1	Relief très faible	$05 < D_s < 10$ m
R2	Relief faible	$10 < D_s < 25$ m
R3	Relief assez faible	$25 < D_s < 50$ m
R4	Relief modéré	$50 < D_s < 100$ m

II.6.3 La carte des pentes :

À partir du modèle numérique de terrain on a déduit la carte des pentes. En tenant compte de l'effet de la pente, le bassin versant de montre une forte susceptibilité à l'érosion. En effet, est assez contrasté avec des différentes pentes (fortes et moyennes).[7]

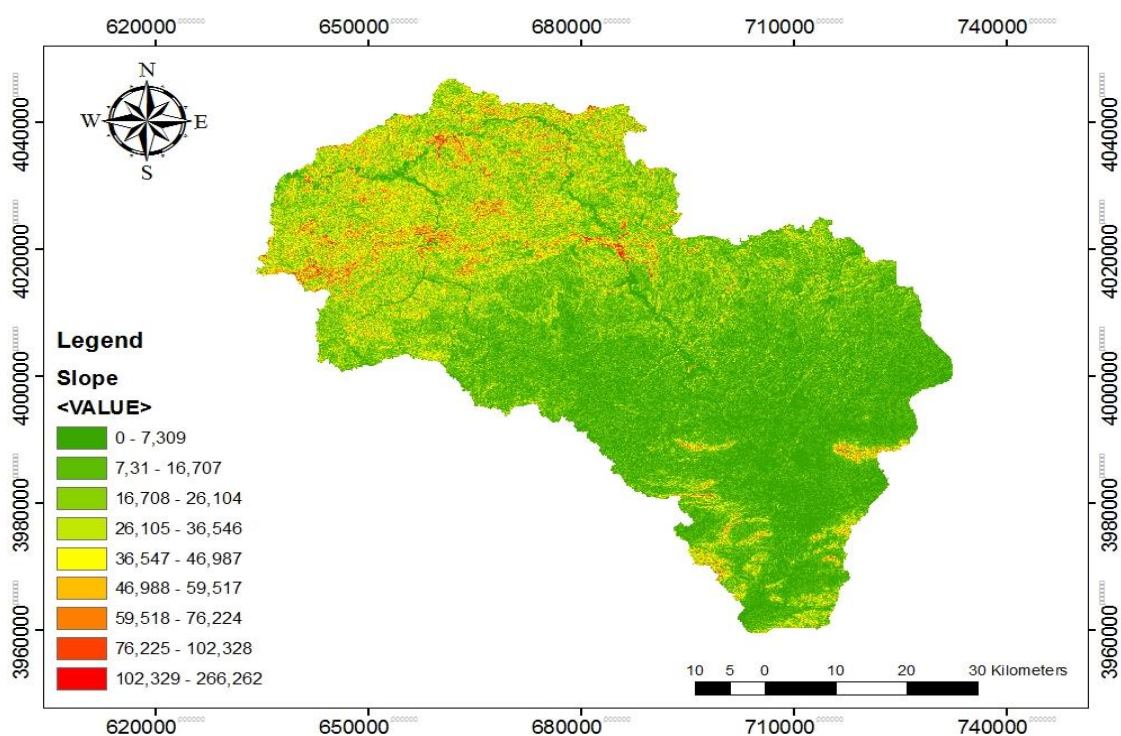


Figure II.12. Carte des pentes du bassin Boussemam

II.7 Paramètres du réseau hydrographique :

II.7.1 Densité de drainage D_d :

C'est le rapport de la longueur totale des talwegs à la surface du bassin versant, elle est exprimée en Km/Km², soit : [2]

$$D_d = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{S} \quad (\text{II-8})$$

Avec :

Σl_i : Longueur totale cumulée des talwegs (km).

S : Surface du bassin versant (Km²).

II.7.2 Coefficient de torrentialité (CT) :

$$C_T = \frac{N_1}{A} * D_d \quad \text{II-9}$$

N_1 : nombre de cours d'eau d'ordre 1

II.7.3 Densité hydrographique (F) :

La densité hydrographique représente le nombre de canaux d'écoulement par unité de surface. Elle est donnée par la relation :

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \quad \text{II-10}$$

N_i : nombre de cours d'eau.

II.7.4 Temps de concentration (TC) :

Le temps de concentration est défini comme étant la durée que met une goutte d'eau qui tombe dans le point le plus éloigné du bassin versant, pour atteindre l'exutoire. Il est exprimé par la formule de Giandotti ci-après [32].

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 * L_p}{0.8\sqrt{(H_{moy} - H_{min})}} \quad \text{II -11)}$$

Ou :

A : superficie du bassin (km²)

L_p : longueur du talweg principal (km)

H_{moy} : altitude moyenne (m)

H_{min} : altitude minimale (m)

II.7.5 Vitesse d'écoulement de l'eau (v_e)

Elle est donnée par l'expression suivante.

$$V_e = \frac{I_p}{T_c} \quad (\text{II-12})$$

II.8 Situation climatique :

II.8.1 Climat :

Climat est l'ensemble des actions de l'atmosphère : humidité, pluie, température et vents. C'est l'élément naturel sur lequel l'homme n'a aucune influence directe (sauf les cas particuliers des irrigations). C'est un facteur essentiel du développement des plantes, de la formation et de l'évolution des sols. Ses principales composantes ont une influence importante sur l'érosion. [3]

Le climat d'une région est influencé par de nombreux paramètres climatologiques qui sont : [34]

- La température
- La précipitation
- L'humidité et le vent
- Pluviométrie

La climatologie a essentiellement pour but : [3]

- L'analyse complète des éléments météorologiques qui déterminent le climat

- La recherche des causes qui expliquent les différents climats et les fluctuations qui les accompagnent.

La région de la Soummam est sous la dépendance de trois types de climat : climat littoral tempéré sur le cours inférieur de l'Oued Soummam, climat de l'Atlas Tellien sur la moyenne Soummam et sur une partie du haut bassin de la Soummam (Oueds Sahel - Cours inférieurs de Oued Boussellam) et climat des hautes plaines sur le haut bassin de l'Oued Boussellam. [7]

Une carte des étages bioclimatiques est représentée dans la figure (II.13). Selon cette dernière, le climat de Boussellam est humide à subhumide dans les régions Est et Nord, un climat semi-aride au centre et un climat aride au Sud. [7]

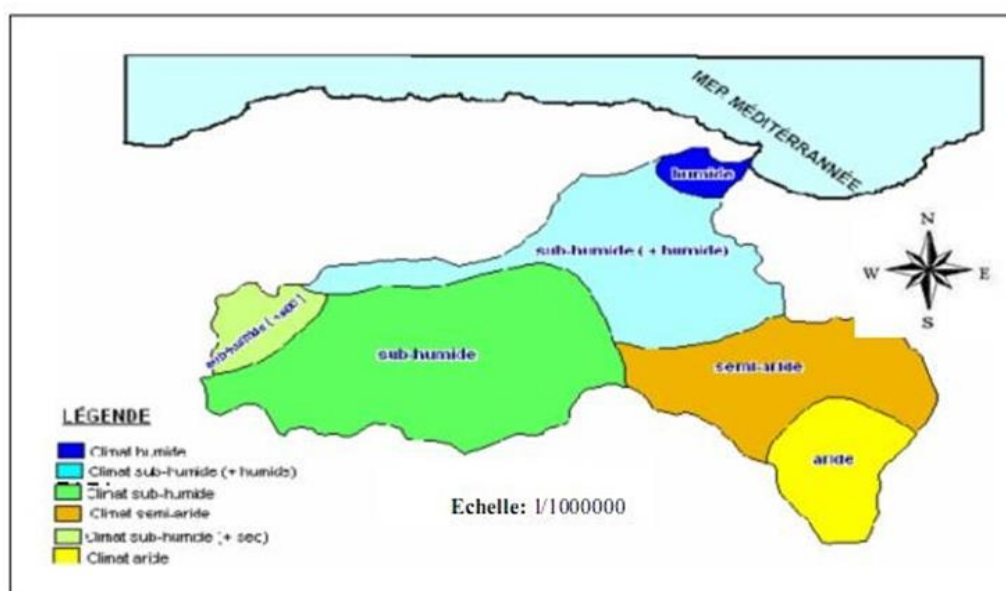


Figure II.13 . Étages bioclimatiques du bassin Soummam [26]

II.8.2 Température :

C'est l'un des éléments les plus importants de la radiation solaire. Un certain nombre de phénomènes physiques tels-que l'évaporation, le dégel de l'eau, la gelée blanche. La dilatation et la concentration de certains matériaux : phénomène physiologique ou pathologique tel que la transpiration sont liées à la température de l'air. La température dont il s'agit est la température de l'air mesuré à l'ombre dans un abri météorologique. [3]

À titre indicatif, l'abaissement des températures maximales est de 0.65 °C pour une élévation de 100 m d'altitude, et celle des minimaux est de l'ordre de 0.4°C pour la même élévation d'altitude. L'altitude maximale de notre zone d'étude est de l'ordre de 1757 m et l'altitude minimale est de 189 m. Ce qui signifie que l'altitude moyenne de notre zone d'étude est d'environ 973 m. Les températures moyennes mensuelles relevées de 1978 à 2017 sont représentées par le tableau suivant. [7]

Tableau II.3 . Températures moyennes mensuelles en degrés Celsius corrigées de la région d'étude [7].

Mois (C°)	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
T_{max}	11.75	11.62	13.28	15.01	17.53	21.03	24.13	24.88	22.79	20.07	15.42	12.27
T_{min}	4.14	4.33	5.69	7.49	10.63	14.33	17.33	17.91	15.8	15.8	8.44	5.33
T_{moy}	7.64	7.97	9.48	11.25	14.08	17.68	20.73	21.39	19.29	16.31	11.93	8.8

Avec : Tmax : Température maximale, Tmin : Température minimale

Tmoy : Température moyenne. $T^{\circ} \text{ moy} = (T_{\text{max}} + T_{\text{min}})/2$

Il en ressort que le mois de janvier est le plus froid avec une température de 4.14 °C, alors que les mois de juillet et août sont les plus chauds à des valeurs 24.13 °C et 24.88 °C.

II.8.3 Vent :

C'est un facteur favorisant l'évaporation, il transporte les couches d'air saturées qui sont près de la surface de l'eau ou des sols pour être remplacées par des couches d'air plus au moins sèches. Dans la région de la Soummam, les vents dominants sont les vents du nord-ouest (vents marins qui s'engouffrent facilement dans la vallée de la Soummam). En hiver, ils apportent les nuages, la pluie. En été, ce sont les vents sud-est qui sont beaucoup moins importants et surtout le vent sud, le sirocco, vent sec d'intensité variable ayant une action funeste sur la végétation. Les moyennes mensuelles des vitesses du vent moyen sur dix ans sont données dans le tableau ci- après. [7]

Tableau II.4: Vitesse mensuelle moyenne du vent (1994-2003) [27]

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Août	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
v (m/s)	4,7	4,28	3,92	3,52	3,58	3,47	3,63	3,38	3,54	4,13	4,4	4,91

La vitesse du vent la plus faible a été enregistrée le mois d'août de l'ordre de 3,38 m/s contrairement à la période hivernale où les vents sont froids et violents surtout durant le mois de décembre et janvier dont la vitesse du vent varie entre 4,91 et 4,7 m/s. [7]

II.8.4 Précipitations :

Deux groupes de facteurs géographiques (éloignement par rapport à la mer, altitude, exposition des versants par rapport aux vents pluvieux du Nord-Ouest) et météorologiques (déplacement des masses d'air polaire océanique, froid et humide, des masses d'air tropical chaud et humide de l'Atlantique Sud et enfin des masses d'air tropical continental ou anticyclone saharien) influencent la répartition spatiale des précipitations, mais aussi les structures des régimes pluviométriques [7]. Le caractère d'irrégularité temporelle des précipitations est, par ailleurs, une donnée fondamentale du climat algérien. La carte pluviométrique de l'Algérie du Nord établie par l'Agence Nationale des Ressources Hydriques (ANRH – Projet PNOD/ALG/88/021-Janvier 1993) fournit la pluie moyenne annuelle de la période 1969 – 1989. On observe les points suivants :

- Les pluies sont maxima sur le massif du Djurdjura de 1000 mm jusqu'à 1500 mm
- Le bassin du Sahel, au centre et au Sud, à des précipitations comprises entre 300 et 500 mm
- Le bassin aval, près de Bejaia, est soumis à des précipitations de 600 à 900 mm
- Le bassin du Boussellam comprend deux secteurs : le Sud, caractérisé par un climat aride, a des précipitations inférieures à 400 mm, voire à 300 mm Le Centre et le Nord du bassin ont des précipitations plutôt supérieures à 500 mm, avec des valeurs moyennes de l'ordre de 600 mm, et jusqu'au maximum de 700 mm [7].

La pluviométrie du bassin versant de la Soummam est bien déterminée grâce à l'existence d'environ 50 stations pluviométriques, soit à peu près une station pour 180 km².

L'exploitation des données pluviométriques de 13 stations situées dans le bassin Boussellam montré que la moyenne annuelle des précipitations est de l'ordre de 423,31 mm [7].

Tableau II.5 . Valeurs des précipitations mensuelles et annuelles de 13 stations du sous bassin versant Boussellam (1970 -2017) [29,31].

N°	Code	Sept	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	P _{an}
1	150603	27.78	32.42	34.35	26.47	31.27	30.07	31.78	34.73	38.66	20.56	7.9	10.13	346.4
2	150606	32.95	36.72	37.18	63.73	48.28	39.9	43.92	40.81	43.43	21.81	8.35	11.11	420.32
3	150607	33.29	37.74	39.38	54.83	49.55	41.49	45.86	43.36	44.3	22.06	8.39	11.22	432.45
4	150608	32.81	36.88	39.5	60.29	52.54	46.1	51.62	46.77	43.59	20.85	7.87	10.75	441.99
5	150614	28.3	34.36	37.18	40.26	38.19	33.52	33.89	37.62	40.01	21.32	8.02	10.43	370.9
6	150703	27.52	47.98	57.82	98.92	92.93	84.26	65.88	57.64	43.85	15.81	4.81	7.84	612.82
7	150706	36.07	46.51	52.04	81.51	70.6	61.89	62.65	52.45	49.13	20.93	7.89	11.22	555.94
8	150707	29.51	31.73	39.07	50.84	39.87	36.72	42.53	37.81	39.8	20.59	8.32	9.06	385.85
9	150802	31.79	39.72	48.14	80.6	61.97	57.97	59.23	55.47	45.3	19.79	7.16	10.37	500.62
10	150904	26.31	32.83	43.04	62.16	56.59	42.31	42.82	38.37	29.24	8.14	4.49	8.55	394.85
11	150602	29.51	31.73	39	50.84	39.87	36.72	42.53	37.81	39.8	20.59	8.32	8.5	385.22
12	50901	26.6	28.8	35.27	42.85	47.47	32.47	28.67	33.3	29.8	7	5.4	4.19	321.82
13	150801	33.12	26.89	31.3	38.47	36.56	27.24	31.12	39.59	38.54	15.94	3.97	11.44	333.88
Moyenne annuelle														423.31

Le tableau suivant résume les caractéristiques principales du bassin étudié :

Tableau II.6 .Principales caractéristiques morphométriques du bassin de Boussellam

Paramètres	Symbole	Unité	Valeur
Aire	A	Km ²	4237,74
Périmètre	P	km	421,414
Indice de compacité	KG	/	1,81
Altitude maximale	Hmax	m	1600
Altitude minimale	Hmin	m	174
Altitude moyenne	Hmoy	m	819,34
Indice de pente globale	Ig	%	0,00424
Largeur du rectangle équivalent	lr	km	23,14
Longueur du rectangle équivalent	Lr	km	187,25
Dénivelée	D	m	795
Dénivelée spécifique	Ds	m	276,01
Altitude à 5%	H5%	m	1245
Altitude à 95%	H95%	m	450
Densité de drainage totale	Dd	Km/km ²	12,34
Temps de concentration	Tc	Heure	22 ,33
Classification de Horton	ordre	/	/
Densité hydrographique	F	1/km ²	2,37
L'altitude minimale	H50%	m.	835
Vitesse de propagation de crue	Ve	m/s	1,6
Coefficient de torrentialité	Ct	/	14,19

II.9 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé de représenter le bassin versant de Boussellam, la topographie, les conditions climatiques et les réseaux hydrographiques de la région. L'étude des différentes caractéristiques de sous bassin.

Nous avons pu tirer les synthèses suivantes :

- Le bassin du Boussellam est caractérisé par un climat humide à sub-humide dans les régions Est et Nord, un climat semi-aride au centre et un climat aride au Sud.
- Le très faible couvert végétal est un cause de érosion.

chapitre III :
Cartographie de l'érosion
hydrique par l'utilisation du
modèle EPM et SIG

Chapitre III. Cartographie de l'érosion hydrique par l'utilisation du modèle EPM et SIG

III.1 Introduction :

Le modèle EPM "Erosion Potentiel Method", a été développé dans les années 50 par Gavrilovic dans les bassins versants d'Ex-Yougoslavie. Il a pu être appliqué avec succès à des bassins alpins en Italie. La méthode a pour objectif de quantifier les risques d'érosion hydrique et de développer des pratiques adaptées pour la réduction des pertes des sols. Elle est applicable à divers types d'érosion (érosion en nappes, érosion en rigoles et en ravins et sapement de berges). Il se base sur la cartographie et la combinaison de six paramètres qui sont :

- La pente.
- La sensibilité des sols à l'érosion.
- L'état érosif, la protection des sols.
- La température et les précipitations.

Nous allons tester ce modèle pour la quantification de l'érosion dans le sous bassin versant de BOUSSLEM sachant que toutes les données sur les paramètres du modèle et la similitude des conditions physiques du bassin versant sont disponibles.

Dans ce chapitre, L'application du modèle de Gavrilović a nécessité la cartographie et l'intégration dans le Système d'Information Géographique (SIG) des différents paramètres qui rentrent en ligne dans le phénomène de l'érosion hydrique et qui sont nécessaire au fonctionnement du modèle EPM. Ce couplage permet, d'évaluer les pertes en sols et d'estimer le poids de chaque facteur et de leurs effets combinés d'une manière rapide et efficace. Il permet ainsi de démêler la complexité et l'interdépendance des facteurs responsables de l'érosion. L'équation exprime l'érosion comme étant le produit des six facteurs suivants : les pentes, les précipitations, les températures, la sensibilité des sols à l'érosion, les types

d'érosion et la protection des sols, ces paramètres utilisés ont été étudiés grâce à la télédétection et aux données collectées sur le terrain puis intégrés dans le SIG.

Ces paramètres sont :

- a. Les facteurs permanents de l'érosion hydrique sont :
 - La sensibilité à l'érosion,
 - La pente et l'état érosif.
- b. Les facteurs dynamiques sont :
 - Les précipitations.
 - Les températures.
 - L'utilisation des sols.
- c. Les processus et formes de l'érosion réelle et leur hiérarchisation en fonction du degré du risque.

III.2 Méthodologie :

Le volume annuel moyen des sédiments érodés désigné par la lettre (W) est déterminé de la manière suivante : [12]

$$w = T * H * \pi * \sqrt{Z}^3 \quad (\text{III-1})$$

Où :

W : volume annuel moyen des sédiments érodés (m³/km²/an)

T : Coefficient de la température

$$T = \sqrt{\left(\frac{t_0}{10} + 0.1\right)} \quad (\text{III-2})$$

Avec :

t_0 : Température moyenne annuelle en (C°)

H : Précipitation moyenne annuelle en (mm)

Z : Coefficient d'érosion

$$Z = Xa * Y * (\varphi + \sqrt{Ja}) \quad (\text{III-3})$$

Xa : Coefficient de protection du sol du bassin versant, se rapportant à la protection des sols par la couverture végétale, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles.

Y : Coefficient d'érosion du sol, indique la sensibilité des sols à l'érosion dépend de la géologie du bassin versant

φ : Coefficient de type et d'étendue de l'érosion équivalant numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant

Ja : Pente moyenne de la zone d'étude en (%) L'organigramme (Figure (III.1) présente la méthodologie adoptée pour préparer la carte des pertes en sols (W) à partir du modèle de Gavrilovic (EPM).

Ces facteurs sont calculés à partir des images satellites, des cartes géologique, pédologique, de fichier DEM (Modèle d'élévation numérique), cartes de précipitation moyenne annuelle et la carte de la température.

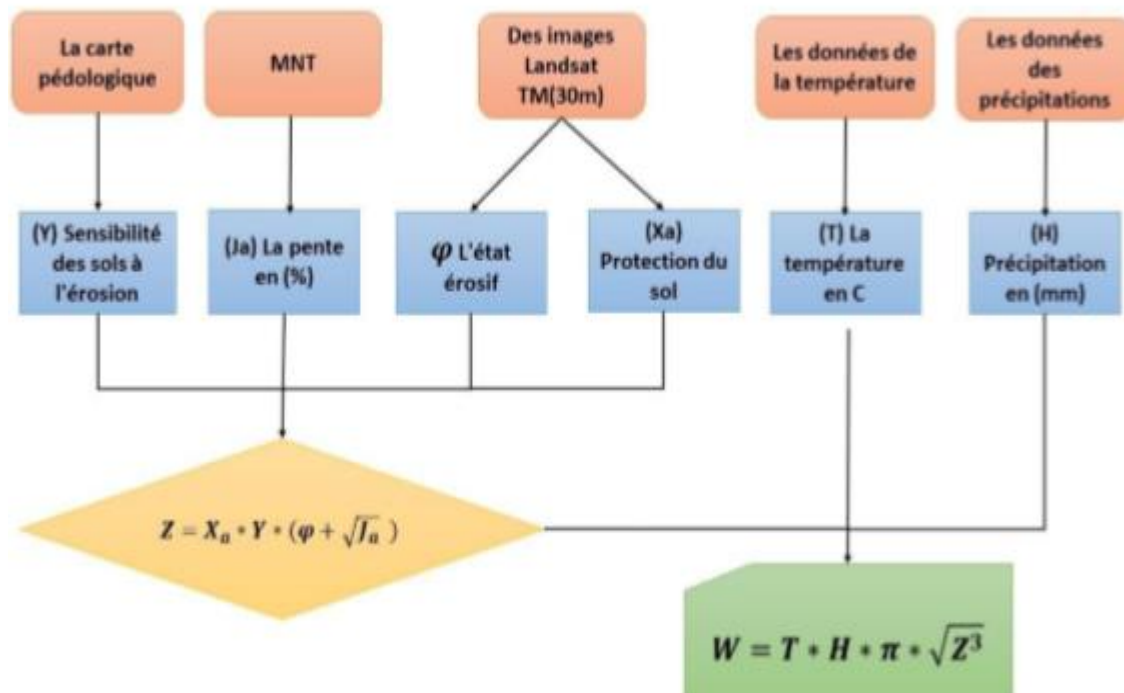


Figure III.1 .Organigramme du modèle Gavrilovic « EPM » Baali. S.2018

III.3 Résultats et discussion :

III.3.1 Coefficient de la température (T) :

La température est un facteur d'érosion très important dans ce modèle, car elle a un effet évident sur l'eau dans le sol. La température maximale permet d'augmenter l'évaporation et la transpiration et conduit à l'apparition des fissures qui permettent de démanteler les formations argileuses en particulier, et les variations thermiques successives permettent le démantèlement des composants des roches et des formations de surface.

Gavrilovic a cherché à adopter la température comme facteur d'érosion dans le modèle EPM. Les valeurs du coefficient de température sont déterminées par une formule spéciale qui prend la température moyenne annuelle comme variable de base pour calculer le coefficient.

$$T = \sqrt{\left(\frac{t_0}{10} + 0.1\right)} \quad \text{(III-4)}$$

Avec :

t_0 : Température moyenne annuelle en (C°)

Devant l'absence des données de la température dans le bassin versant de Boussellam nous avons travaillé avec les données disponibles comme les images satellitaires télécharger à partir de site « Erth explorer » pour 4 mois d'année 2021 « février, juillet, septembre et décembre ». Le facteur de température est présenté respectivement dans les figures suivantes :

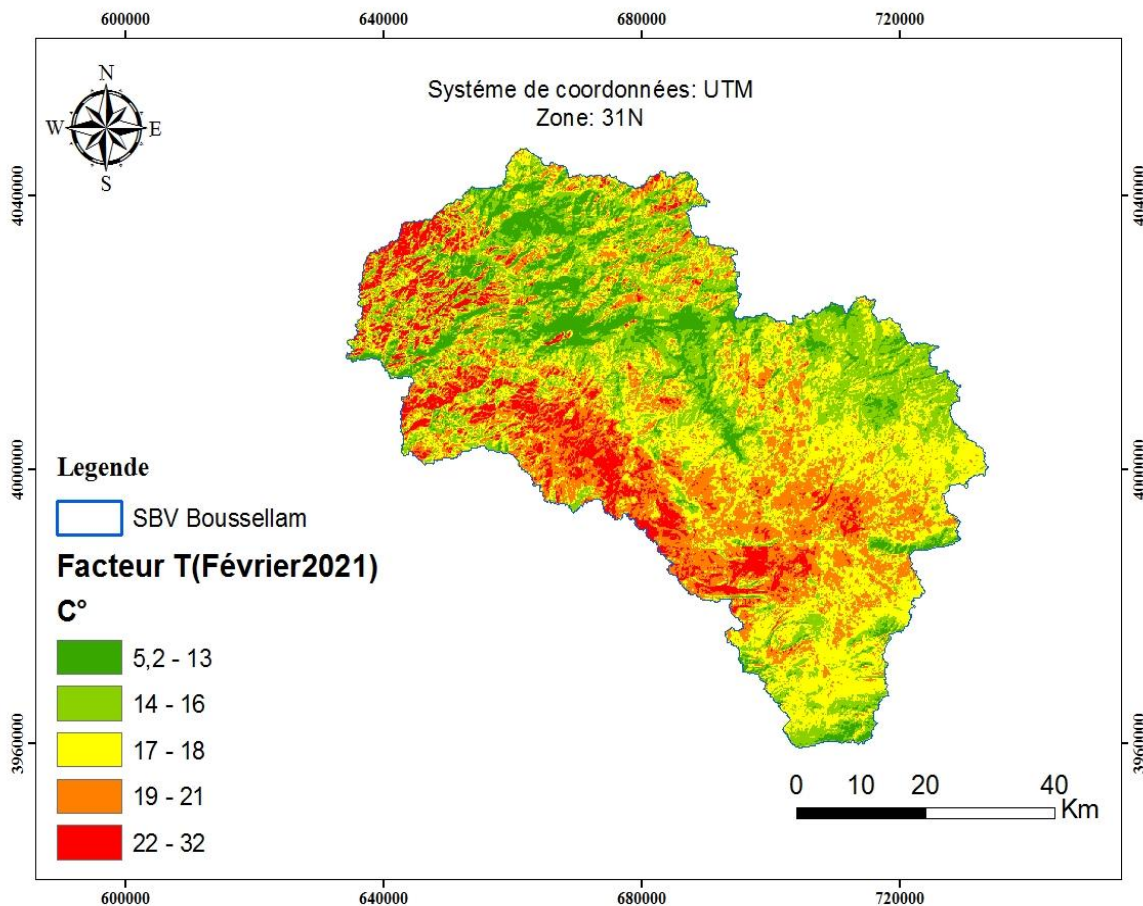


Figure III.2 . Le facteur de la température “T” du bassin versant en février

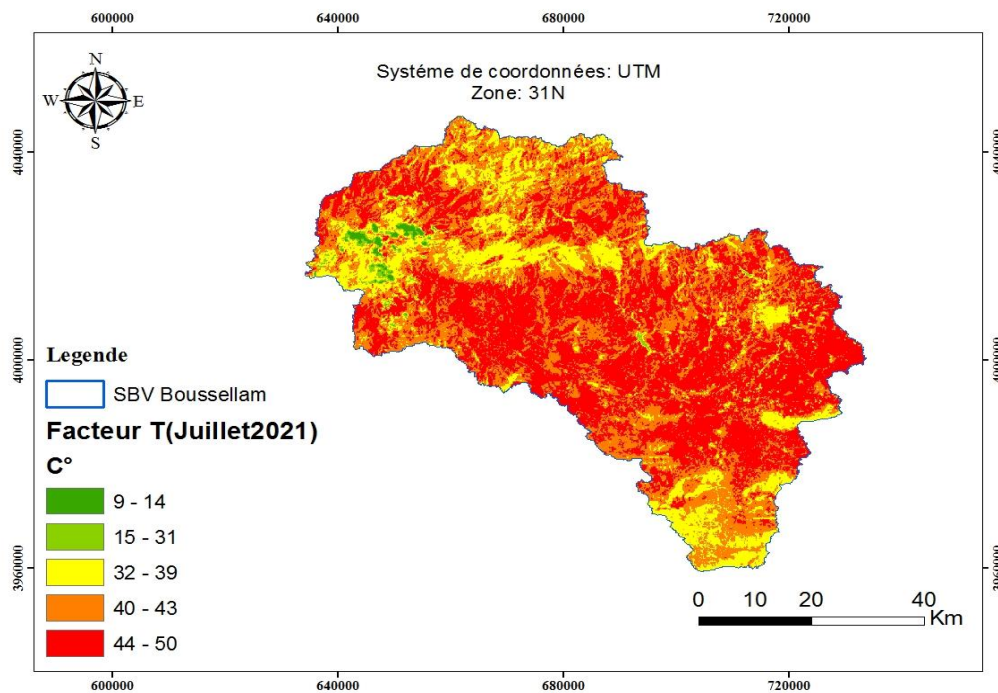


Figure III.3 . Le facteur de la température “T” du bassin versant en juillet

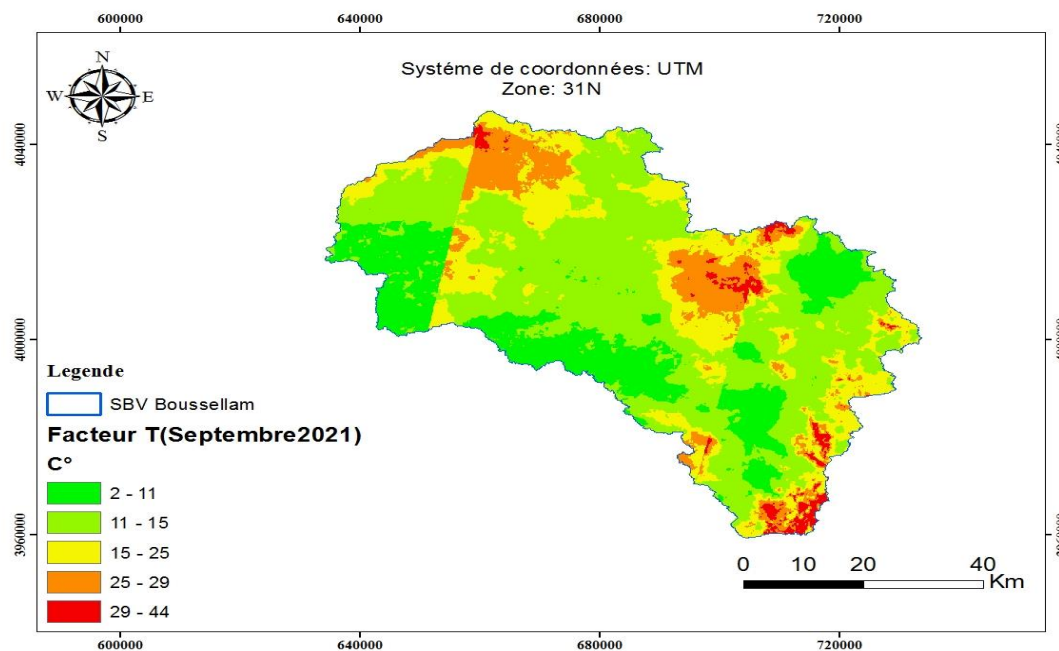


Figure III.4.le facteur de la température “T” du bassin versant en septembre

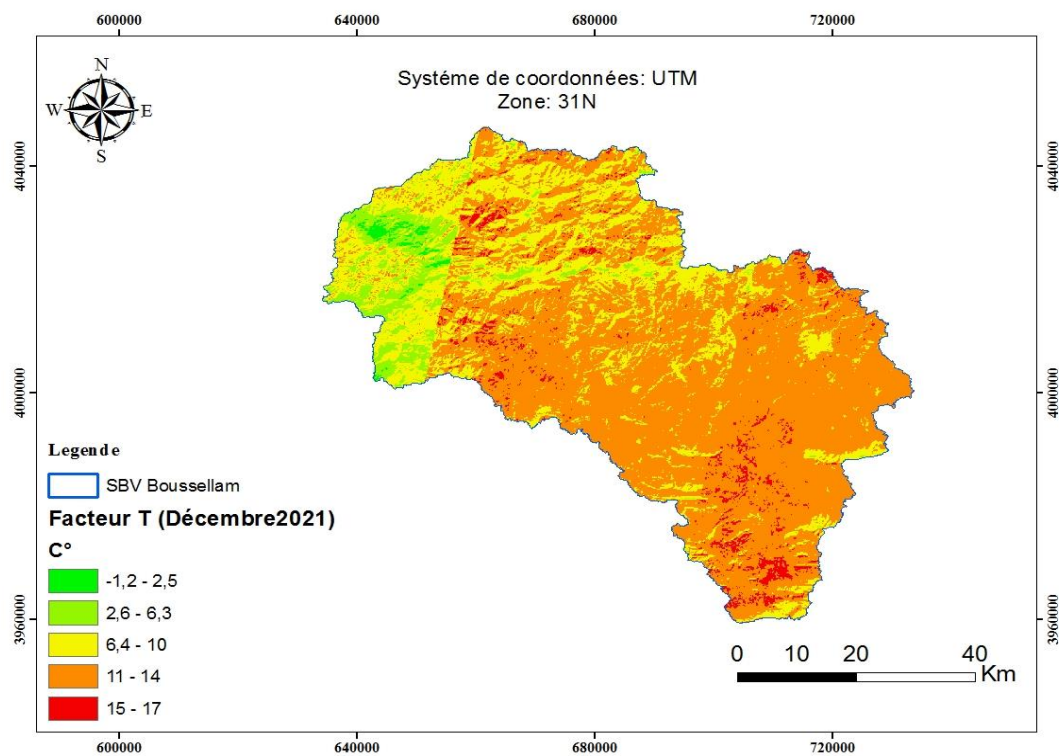


Figure III.5. Le facteur de la température "T" du bassin versant en décembre

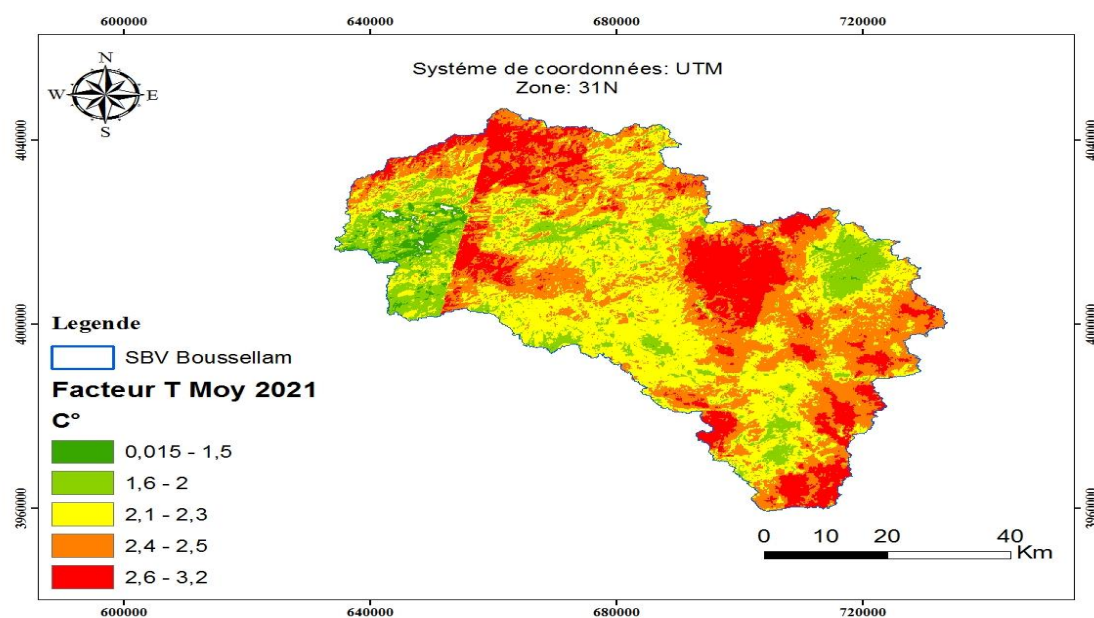


Figure III.6. Le Facteur moyenne de la température "T" pour (février, juillet, septembre et décembre) d'année 2021

III.3.2 Précipitation moyenne annuelle en (H) :

La précipitation joue le premier rôle dans la provocation de l'érosion hydrique, en commençant par les gouttes de pluie qui ont frappé la surface et l'écoulement superficiel et en fin le drainage principal dans les cours d'eau principales. En plus les orages soudains qui érode des grandes quantités de sol, en particulier les zones ont une pente importante et dans le cas d'absence de la couverture végétale et l'exploitation excessive de la terre. Pour estimer les précipitations annuelles H, nous avons utilisé les données des stations pluviométriques du bassin versant de Boussellam. (ANRH).

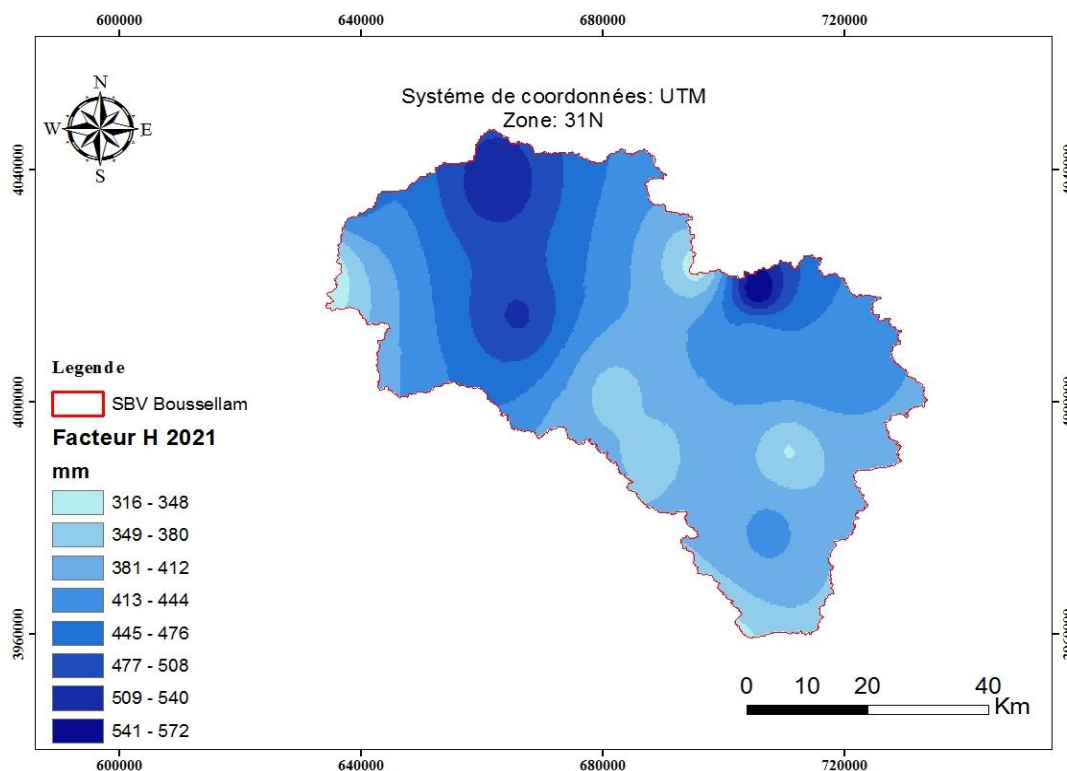


Figure III.7. Le facteur des précipitations moyennes annuelles H moyen

La mesure de la quantité annuelle totale et la répartition spatiale de pluie érosive aux stations, montre que le bassin versant de Boussellam est soumis à une précipitation interannuelle importante. Les valeurs de H subissent un gradient croissant de l'amont du bassin versant vers l'exutoire. Avec une variation entre 316 mm à 572 mm. Ce résultat permet de déduire que le bassin est subit à un pouvoir érosif important.

III.3.3 Coefficient de protection du sol (Xa) :

Le coefficient de protection du sol (Xa) liée directement à la couverture végétale qui joue un rôle important dans la réduction de l'érosion en protégeant le sol pendant les pluies et l'augmentation de la perméabilité du sol. L'indice de couverture végétale est lié au type d'arbres, d'arbustes et des herbes ainsi de leur hauteur et à leur densité. Dans les terres cultivées, plantées ou pâturées, la couverture varie selon les variétés cultivées, le cycle agricole, ainsi que la quantité et la qualité des résidus végétaux après la récolte. L'état de surface varie selon les saisons et les travaux agricoles, car il y a des étapes où le sol est plus sensible à l'érosion et d'autres qui sont protégés par un couvert végétal dense.

Tableau III.1 . (Xa) en fonction d'occupation des sols par les végétaux [12]

Type de sol	Coefficient de protection du sol (Xa)
Les forêts denses, et moyennement denses	0.05 – 0.20
Les forêts de pins et des herbes à côté des cours d'eau	0.20 – 0.40
Pâturages et fermes	0.60 – 0.80
Terrain nue sans couverture	0.80– 1.00

Les valeurs de (Xa) varient en fonction d'occupation des sols par les végétaux. Ce facteur sans dimension est estimé à partir de l'indice de végétation normalisé dérivé (NDVI) déterminé à partir des images satellitaire, l'approche basée sur le (NDVI) a été utilisée pour obtenir des valeurs approximées du facteur (Xa).

a. Calcul de l'NDVI :

Le NDVI (en anglais Normalized Difference Vegetation Index) L'indice de végétation par différence normalisé il permet de mesurer l'intensité de vert des forêts d'une zone donnée. Les images satellitaires sélectionnées dans cette étude sont celle du LANDSAT-8 pour les 4 mois (février, juillet, septembre, décembre) d'années 2021 et en calcule le NDVI pour 2 mois (février, juillet) et par la suite l' NDVI moyen.

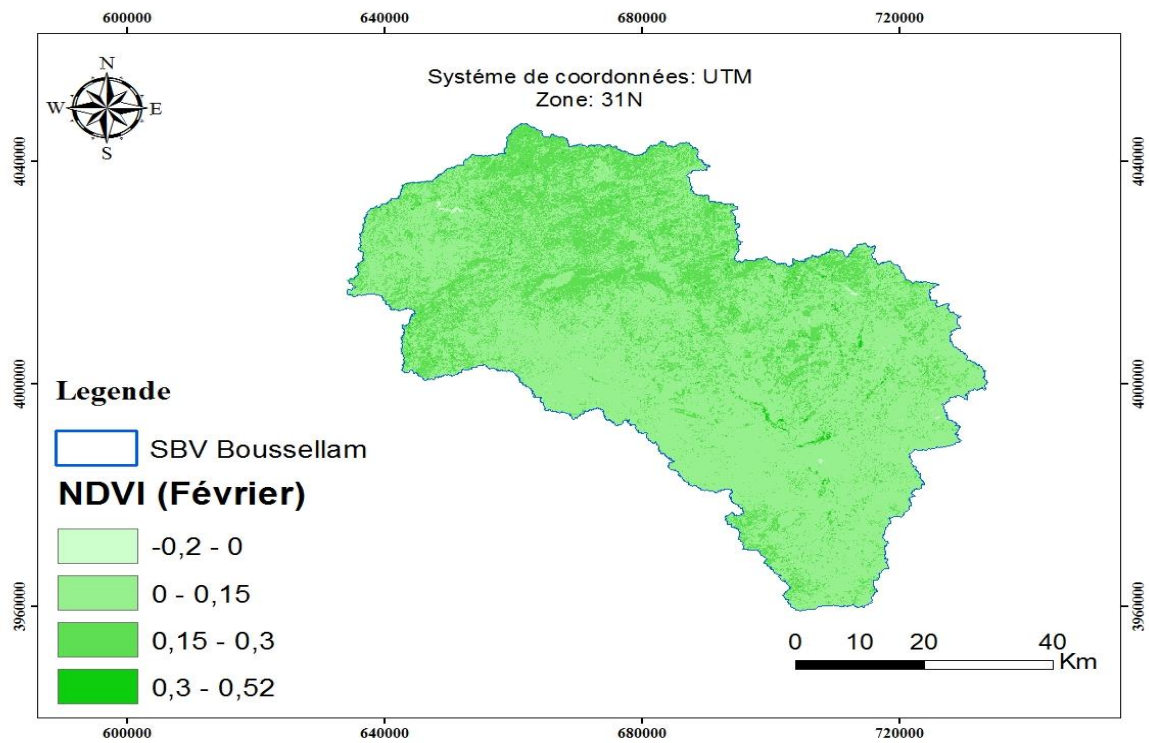


Figure III.8 . Carte des valeurs de L'NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT-8 du mois février

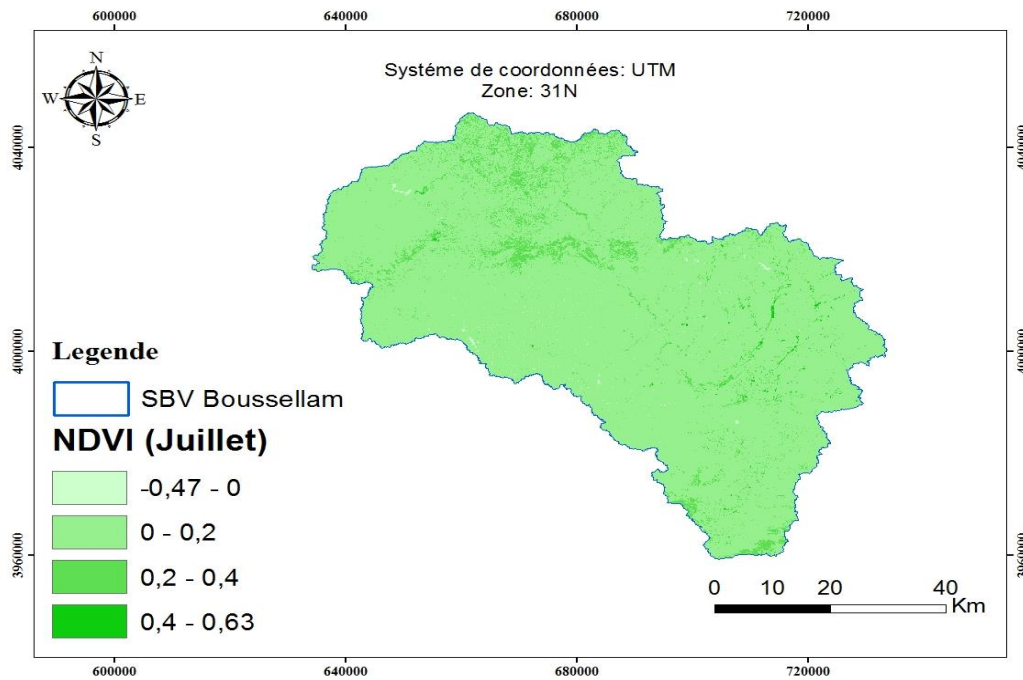


Figure III.9 . Carte des valeurs de L'NDVI générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT-8 du mois juillet

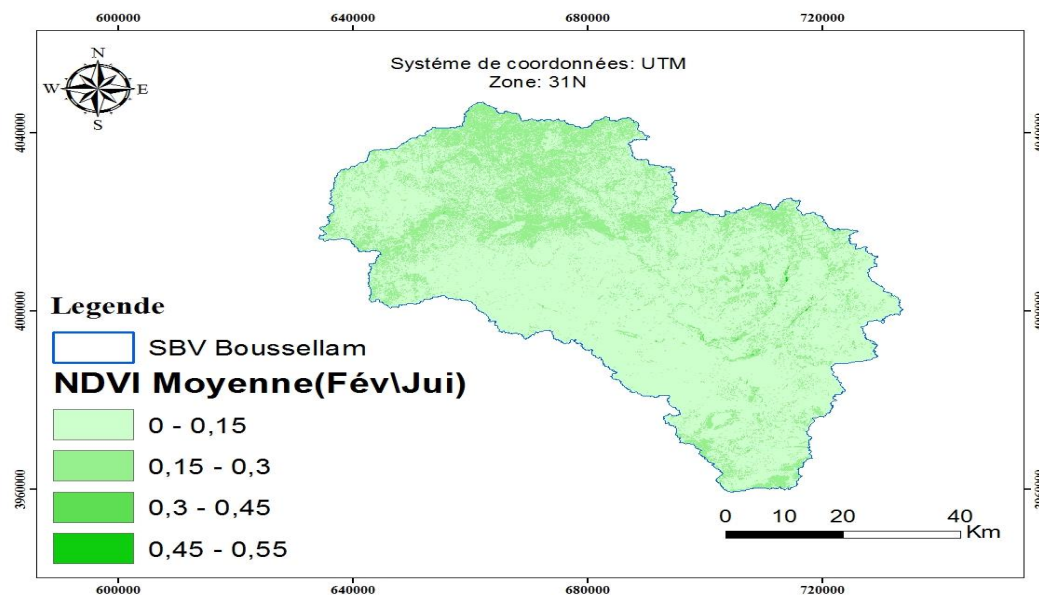


Figure III.10 . Carte des valeurs de L'NDVI moyenne générée à partir de la transformation de l'image satellite LANDSAT-8 de février et juillet l'année 2021

Tableau III.2 . Répartition des classes de l'NDVI dans le bassin versant de février et juillet d'année 2021

Classes NDVI Moyenne (Fév\Juil)	2021	
	S (km2)	%
0 -0,15	3272,956	76,16081
0,15 -0,3	1015,463	23,62955
0,3 -0,45	8,49089	0,197581
0,45 -0,55	0,517475	0,012041

La valeur maximale de l'NDVI reflète le pourcentage le plus élevé de la couverture végétale et représente aussi le bon état de la végétation. Les régions sans végétation (sol nu et plans d'eau) ont une faible valeur du NDVI.

Selon le tableau III.2, à titre indicatif pour la classe (0,15 – 0.3) représente 23.62 % et de la classe (0 – 0.15) représente 76.16 % de la surface du bassin versant pour la moyenne de 2 mois (février et juillet) d'année 2021 ce qui montre une variation dans le couvert végétal.

b. Calcul du coefficient de protection du sol (Xa) :

En effet le (Xa) c'est l'inverse de (NDVI).

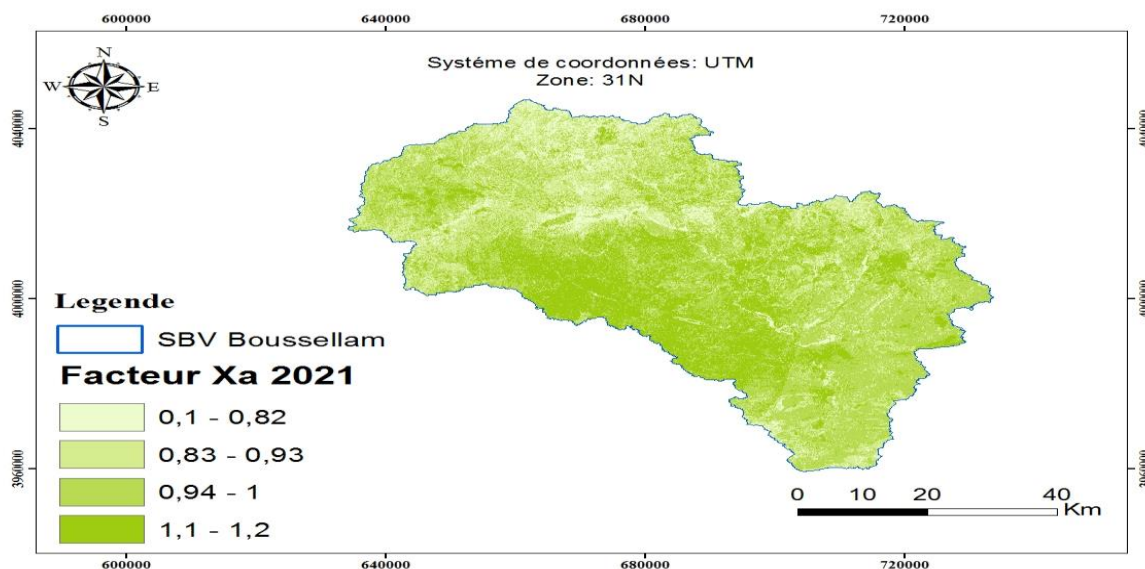


Figure III.11 . Carte des valeur du Xa générée a partir de la transformation de NDVI de l'année 2021

Tableau III.3 . Répartition des classes du vecteur Xa dans le bassin versant de février et juillet d'année 2021

Classes Xa	2021	
	S (km ²)	%
< 0,82	2261,579	5,27
0,83 - 0,93	157 ,04	36,78
0,83 - 0,93	10581,57	24,63
0,94 - 1	13327,98	31,04
1,1 -1,2	1013,11	2 ,36

'après la figure et le tableau de la répartition des classes du facteur (**Xa**), nous constatons que la classe Pâturages et fermes (0.83 – 0.93) occupe la majorité de la surface totale du bassin versant pour tous l'année 2021.

III.3.4 Coefficient d'érosion du sol (Y) :

Le facteur d'érosion (Y) d'un sol exprime sa sensibilité à l'érosion hydrique et dépend de ses propriétés intrinsèques à savoir sa texture, sa structure et sa perméabilité. Il se détermine pour un sol donné par la relation de (*WISHMEIER W.H. et SMITH D.D. 1978*) :

$$y = \frac{2.1 * M^{1.14} * 10^{-4} * (12 - a) + 3.25 * (b - 2) + 2.5(c - 3)}{100}$$

Avec

M = Est le produit des fractions de particules primaires (% sable fin + % limon) x (100 – % argile).

a : Est le pourcentage de matière organique. Le taux de matière organique dans le sol.

b : Est le code de la perméabilité.

c : Est le code de la structure.

Tableau III.4 . Codification de la structure des sols Cs (*WISCHMEIER ET SMITH, 1978*)

Nature de la structure	Code de la structure Cs
Très structuré ou particulaire	1
Assez structuré	2
Peu structuré	3
Non structuré	4

Tableau III.5. Codification de la perméabilité des sols (BP) (WISCHMEIER ET SMITH, 1978)

Degré de perméabilité	Code de perméabilité b_p
Rapide	1
Modérée à rapide	2
Modérée	3
Modérée à lente	4
Lente	5
Très lente	6

D'après Gavrilovic le sol est classé selon le facteur Y comme le tableau suivant :

Tableau III.6. Type de sol en fonction de (GAVRILOVIC S., 1962 ; 1970)

Type de sol	Le facteur Y
Très bon résistance et cohésion	0.1 – 0.3
Moyen résistance et cohésion	0.3 – 0.5
Faible résistance	0.5 – 0.6
Débris d'agrégats et dépôts des sédiments grossiers	0.6 – 0.8
Sable fin, sol très faible résistance	> 0.9

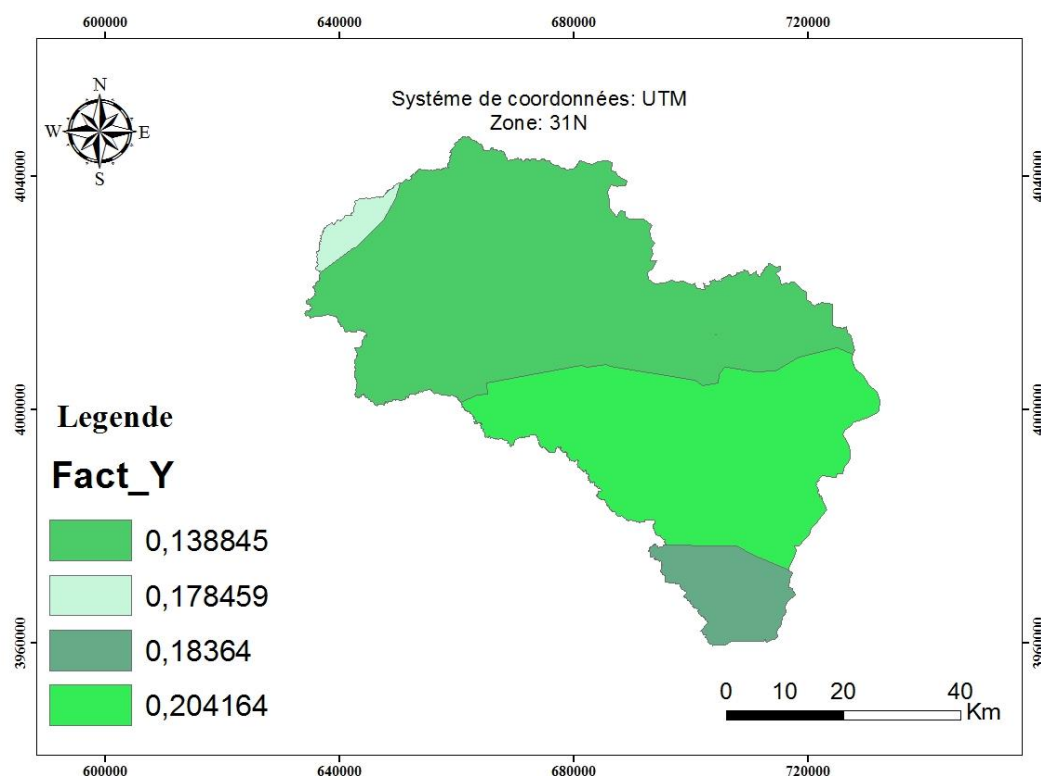


Figure III.12. carte du facteur Y a partir de la relation de (WISHMEIER ET SMITH 1978)

Tableau III.7 . Répartition en classes du facteur Y par apport le pourcentage de la surface

Classes Y	2021	
	S (km ²)	%
0,13 - 0,015	1512,562	36,02
0,15 - 0,017	2330,467	55,5
0,17 - 0,018	80,2224	1,91
0,18 - 0,02	275,1408	6,55

D'après le tableau III.7, nous constatons que la classe de la répartition du facteur Y (0.15-0.017) occupe la majorité du la surface totale du bassin versant (55,5% de la surface).

III.3.5. Coefficient de type et étendue de l'érosion (φ) :

Les valeurs du coefficient de type de l'érosion φ et leur développement varient en fonction de la taille des bassins hydrographiques.

Ce facteur précise et identifie les zones touchées par l'érosion dans le bassin versant, (les cours d'eau, les rivières, les ravins, les dépôts alluviaux ou tout le bassin versant). Cela nécessite un certain nombre de visites du bassin versant.

Ces valeurs sont provenues du travail de terrain par des observations sur le développement de l'érosion dans le bassin ainsi que des images satellitaires à haute résolution (1 m en moyenne).

En l'absence de ce genre d'images on a adopté l'équation donnée par (MILEVSKI. I 2008) pour calculer ce facteur à partir des images satellitaires Land sat-8. Dont chaque image satellitaire a des bandes et un fichier « MTL » qui donne des informations sur l'image pour la correction, et après la correction de ces images en calcule coefficient de type de l'érosion φ à partir l'équation suivante :

$$\varphi = \frac{(B6 + B4) - (B5 + B2)}{(B6 + B4) + (B5 + B2)} + 1 \quad \text{(III-5)}$$

Tableau III.8 . Type d'érosion du sol en fonction (Φ) (GAVRILOVIC S., 1962 ; 1970)

Coefficient de type et étendue de l'érosion	Le facteur (φ)
Peu d'érosion dans le bassin versant	0.1-0.2
Érosion dans les cours d'eau entre 20-50% du bassin versant	0.3-0.5
Erosion dans les rivières, les ravins et les dépôts alluviaux	0.6-0.7
50-80% du bassin concerné par l'érosion de surface et les glissements de terrain	0.8-0.9
Bassin versant entier concerné par l'érosion	1.0

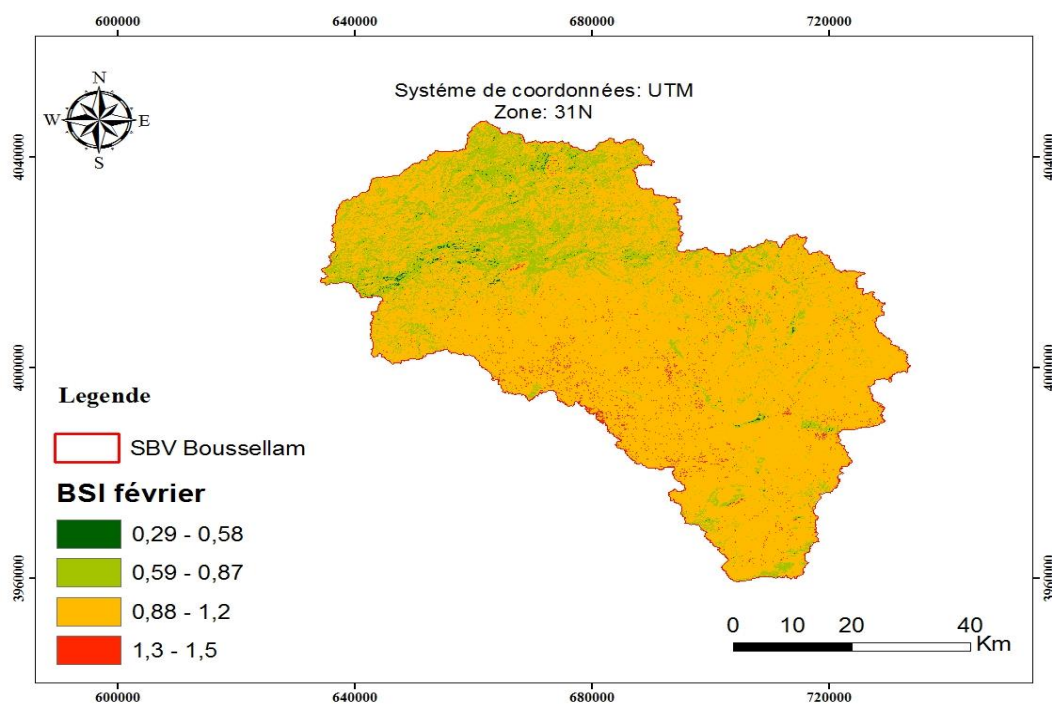


Figure III.13 .Carte de facteur (Φ) générée à partir des images satellitaires Land sat-8 du mois Février de l'année 2021

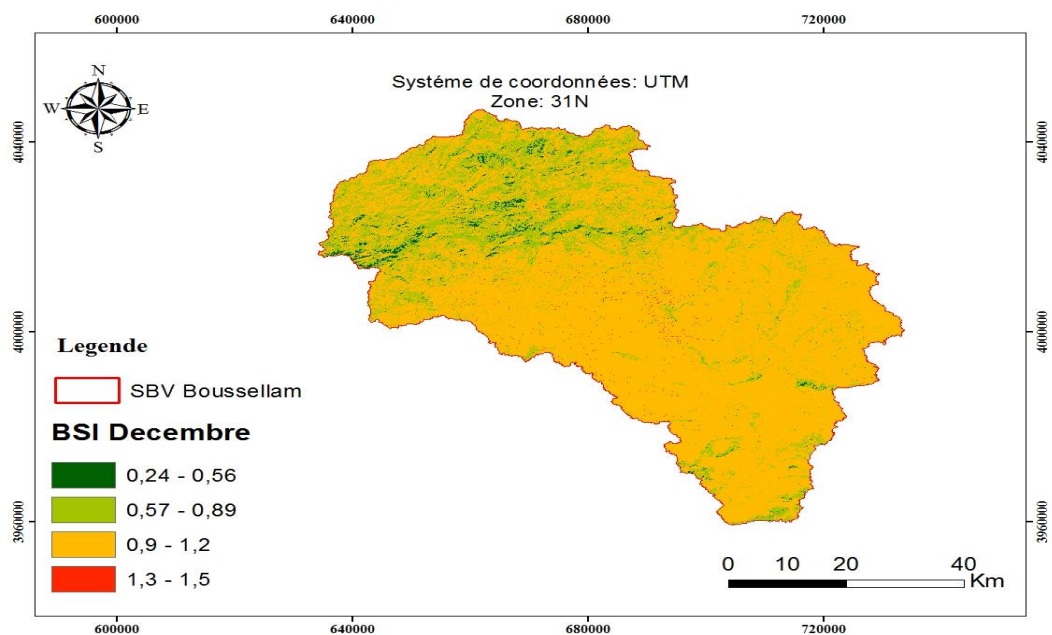


Figure III.14 . Carte de Facteur (Φ) générée à partir des images satellitaires Land sat-8 du mois décembre de l'année 2021

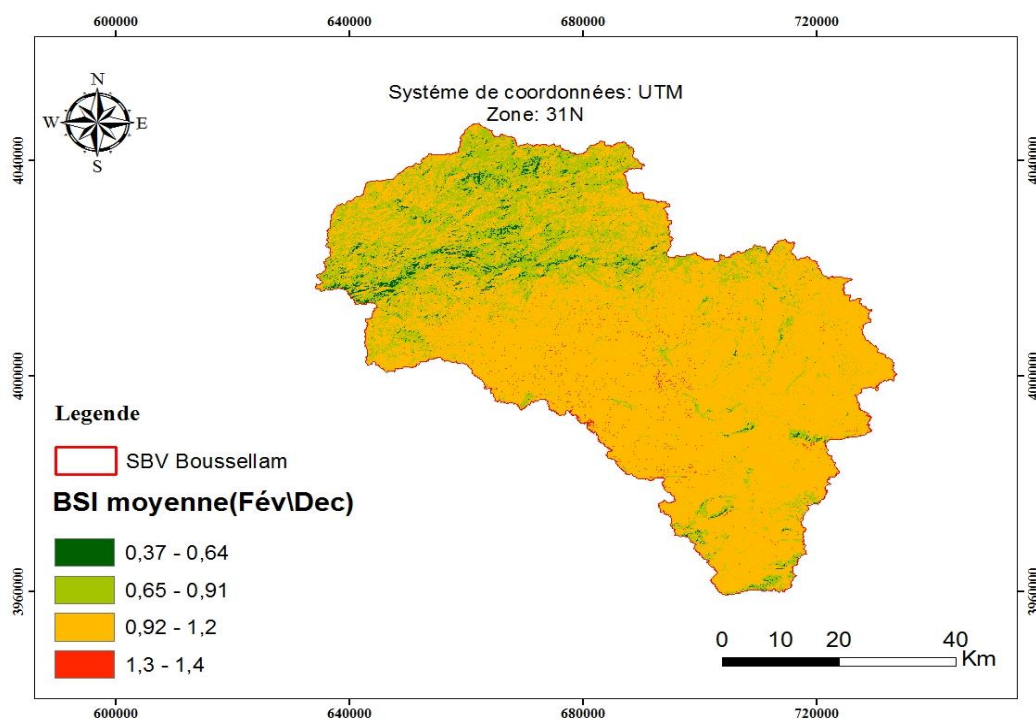


Figure III.15 . Carte de facteur (Φ) générée à partir des images satellitaires Land sat-8 et la moyenne des mois Février e décembre de l'année 2021

Tableau III.9 . Répartition en classes du facteur(Φ) dans le bassin versent pour les mois Février et décembre de l'année 2021

Classes	2021	
	S (km ²)	%
BSI moyenne(Fév\Dec)		
< 0, 37	88,66119	2,06
0,37 - 0,64	96,50942	2,24
0,65 - 0,91	916,0569	21,31
0,92 - 1,2	3196,074	74,37
1,3 - 1,4	0,12598	0,002

D'après le tableau III.9 de la répartition des classes du facteur (φ) dans le bassin versent pour les mois Février et décembre de l'année 2021, nous observons que La classe

(0,92 - 1,2) occupe la majorité de la surface totale du bassin versant (74,37) ce qui montre que 74.37 % pour la totalité de la surface du bassin concerné par l'érosion de surface et les glissements de terrain.

III.3.5 Les pentes de la zone d'étude en J_a (%) :

Les pentes constituent un paramètre très important dans le modèle EPM. L'augmentation de la vitesse d'écoulement sous l'effet des pentes provoque fortement l'érosion. Les pentes sont calculées à partir du fichier MNT

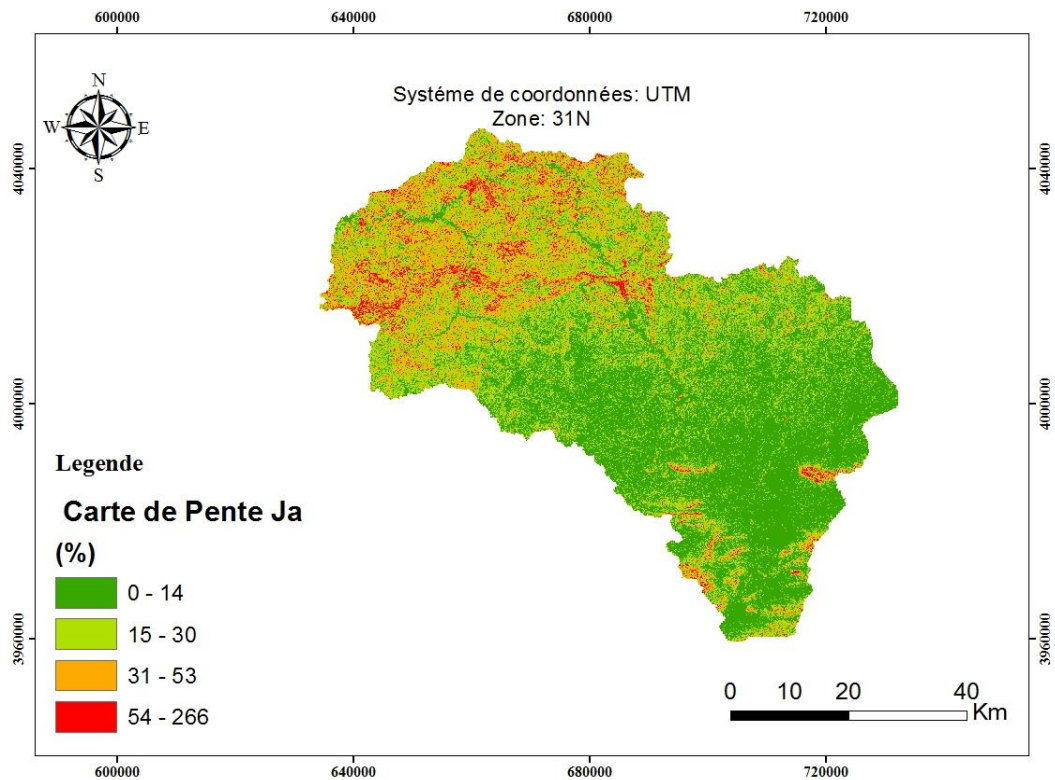


Figure III.16. Carte des pentes JA (%)

III.3.6 Coefficient d'érosion (Z) :

Le coefficient d'érosion (Z) est un paramètre sans dimension qui indique la sévérité ou l'intensité d'érosion dans le bassin versant. Sa valeur (Z) définit la classe d'érosion selon le tableau de Gavrilovic (Tableau IV-6).

$$Z = Xa * Y * (\varphi + \sqrt{Ja}) \quad \text{(III-6)}$$

Xa : Coefficient de protection du sol du bassin versant, se rapportant à la protection des sols par la couverture végétale, des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles.

Y : Coefficient d'érodibilité du sol, indique la sensibilité des sols à l'érosion dépend de la géologie du bassin versant

φ : Coefficient de type et d'étendue de l'érosion équivalant numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant

Ja : Pente moyenne de la zone d'étude en (%)

Figure III.17 . La classe de la érosion en Fonction de (Z) (GAVRILOVIC S., 1962 ; 197III)

La classe d'érosion	Valeur de (Z)
Érosion très élevée	>1.IIIII
Elevée érosion	III.7III - 1.IIIII
Érosion moyenne	III.4III - III.7III
Faible érosion	III.2III - III.4III
Très Faible érosion	III - III.2III

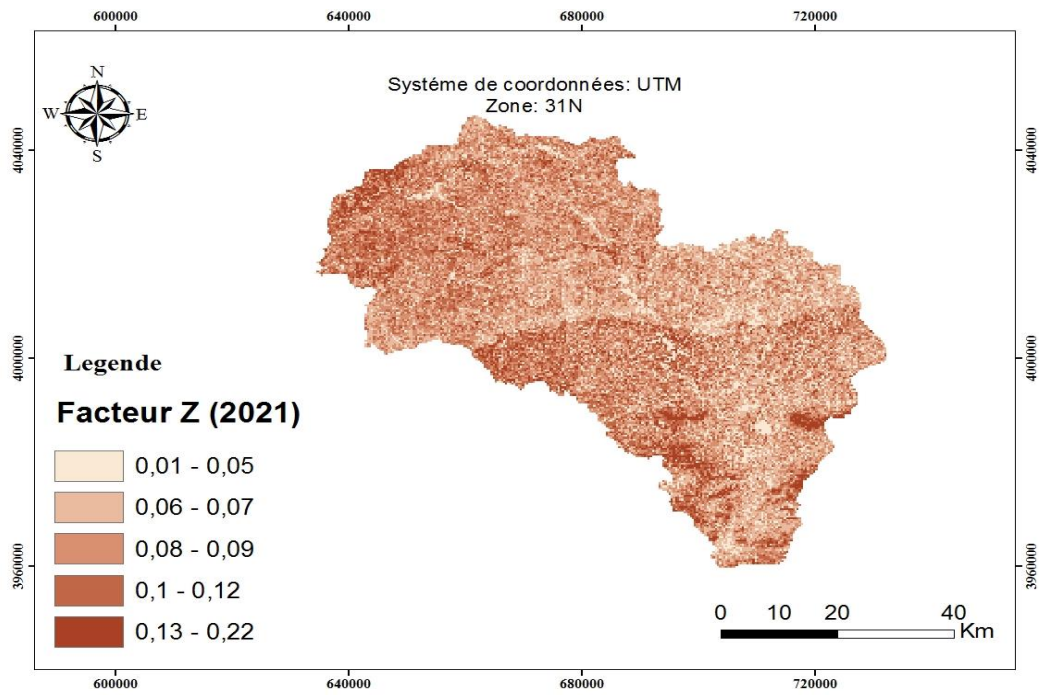


Figure III18 .Carte de classification du coefficient d'érosion Z

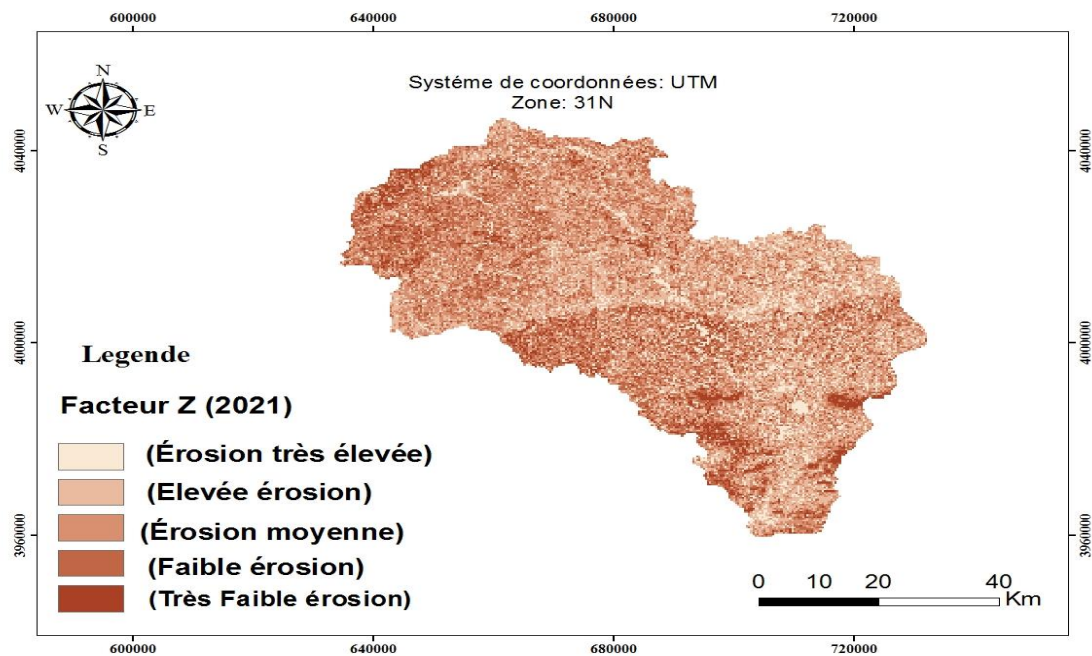


Figure III.19.Carte du coefficient d'érosion annuelle Z

Tableau III.10 . Répartition de classes du coefficient d'érosion annuelle (Z) dans le bassin versant pour l'année 2011

Classes Z	2011	
	S (km ²)	%
<0,1	1769,947	42,35
0,1 - 0,5	578,5344	13,84
0,5 - 1	654,3544	15,66
1 - 2	611,4528	14,63
2 - 5	455,4144	10,89
5 - 22	108,7344	2,6

D'après le tableau III.10, nous observons une variation spatiotemporelle du coefficient d'érosion annuelle Z dans le bassin versant, à titre indicatif pour la classe (<0,1), le coefficient d'érosion Z représente les pourcentages 42.35%.

III.3.7 Volume annuel moyen des sédiments érodés (W)

Après l'élaboration de toutes les cartes représentant les différents facteurs du modèle EPM nous obtenons la carte de volume annuel moyen (W).

$$w = T * H * \pi * \sqrt{Z^3} \quad (\text{III-7})$$

Où :

W : volume annuel moyen des sédiments érodés (m³/km²/an) T : Coefficient de la température

$$T = \sqrt{T_0} + 0.1 \quad (\text{III-8})$$

t_{III} : Température moyenne annuelle en (C°) H : Précipitation moyenne annuelle en (mm) Z : Coefficient d'érosion

$$Z = Xa * Y * (\varphi + \sqrt{Ja}) \quad \text{(III-9)}$$

Xa : Coefficient de protection du sol du bassin versant

Y : Coefficient d'érosion du sol, indique la sensibilité des sols à l'érosion

φ : Coefficient de type et d'étendue de l'érosion

Ja : Pente moyenne de la zone d'étude en (%)

Dans le but d'estimer les quantités (masses) totales des sédiments érodés en (Tonne/Km²/an), nous utilisons la formule :

$$G = W * M \quad \text{(III-10)}$$

M : La masse volumique (Tonne/m³)

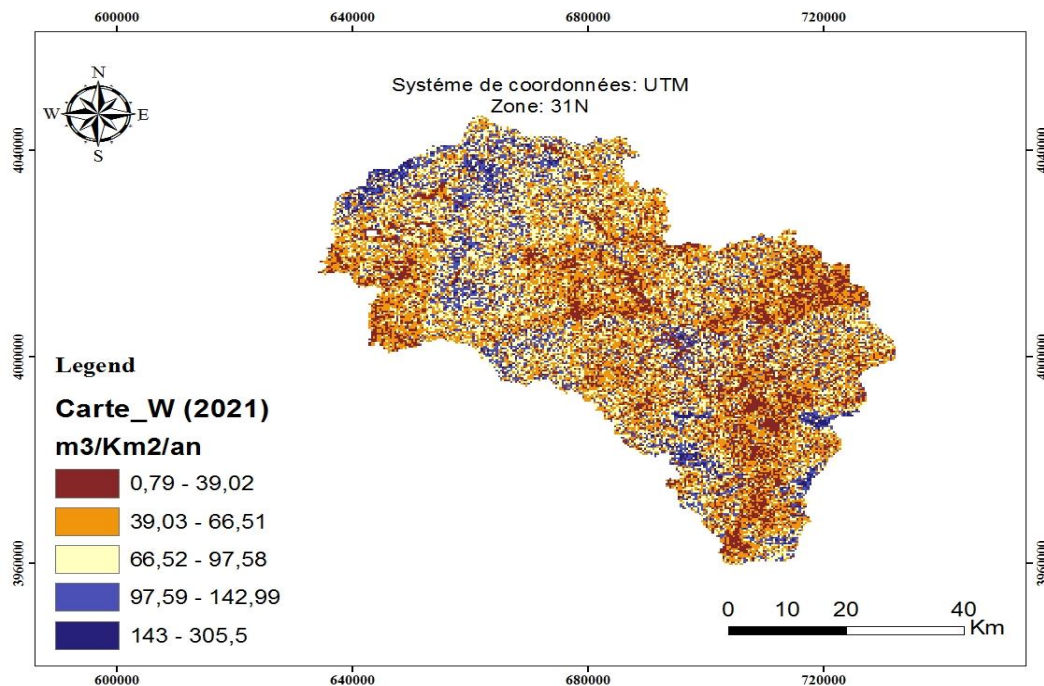


Figure III.20 . Volume moyenne annuelle des sédiments érodent (w) pour l'année 2021

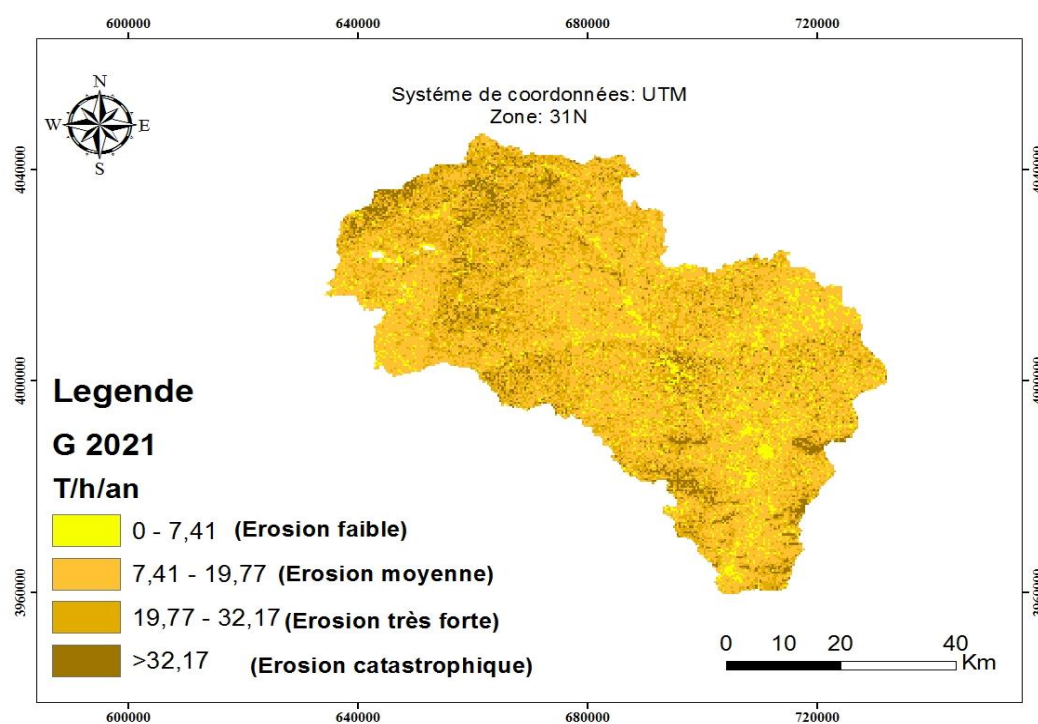


Figure III.21 .Quantités annuelles moyenne d'érosion (G) pour L'année 2III21

Tableau III.11 .classement des pertes en sols en cous d'année

Type d'érosion	Classes G (T/h/an)	2III21	
		S (km ²)	%
Érosion faible	III < 7,41	419,64	1III
Érosion Moyenne	7,41 < 19,77	23III9,73	55,4
Érosion très forte	19,77 < 32,17	1152,14	27,6
Érosion catastrophique	> 32,17	287	6,9

D'après le tableau III.11 et la figure III-2III de classement des pertes en sols de la répartition des classes de la quantité annuelle moyenne (G) nous observons une variation remarquable des pertes en sols en cours d'année 2III21, classé au type d'érosion nous remarquons un types d'érosion : une érosion très forte pour la classe 19.77 – 32.17 égales à 27,6 %

L'érosion moyenne interannuelle sur l'ensemble du bassin versant de Boussellam durant l'année 2III21 est de l'ordre de **17.6 T/ha/an**.

III.4 Comparaison avec les études réalisées sur le bassin versant de Oued Soummam

Selon l'étude l'estimation de l'érosion hydrique par l'utilisation du modèle RUSLE [7], varie entre III et 1196.III7 T/ha/an pour le mois de juillet 2III15, et entre III et 1164.89 t/Ha/an pour le mois de mars 2III16.

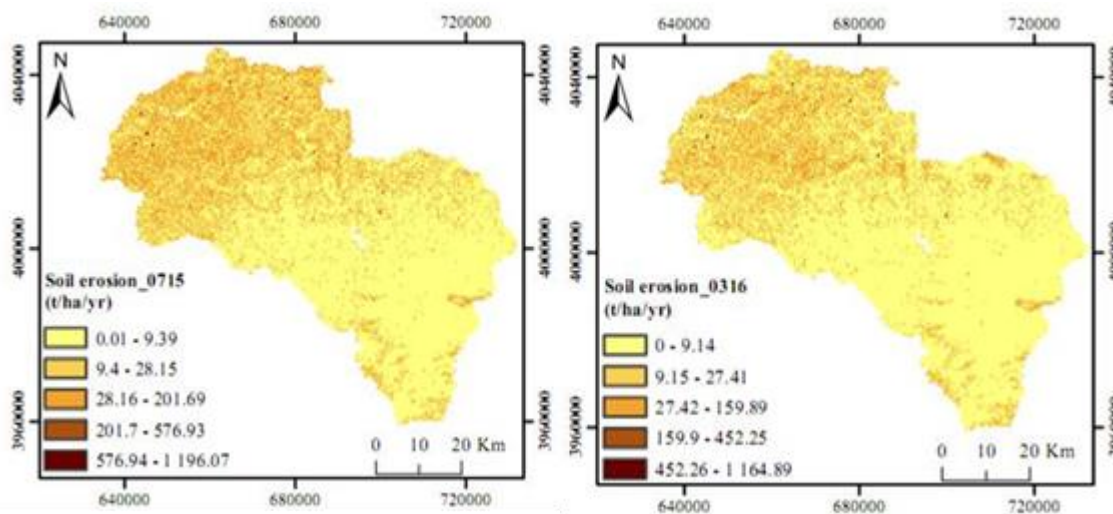


Figure III.22. Taux annuel des pertes en sol par RUSLE (Juillet 2III15 et Mars 2III16) en (t/ha/an) [7]

Dans notre zone d'étude l'érosion spécifique déterminée par le modèle EPM est varié entre 22.11 et 824 t/ha/an. Donc ce résultat montre l'efficacité de modèle EPM pour la quantification de l'érosion hydrique.

III.5 Conclusion

L'analyse statistique des résultats du modèle EPM de Gavrilovic à l'aide d'un système d'information géographique a permis de déterminer les facteurs causaux décisifs qui contrôlent l'érosion hydrique qui sont par ordre d'importance la sensibilité des sols à l'érosion, les pentes, la densité du couvert végétal, la protection des sols, les précipitations, les types d'érosion, et la température.

Les résultats montrent que les pertes moyennes sur l'ensemble du bassin versant est de l'ordre de 17.6 T/ha/an. L'érosion moyenne représente 55.4 % de la surface totale du bassin versant, par contre l'érosion catastrophique représente 7% de la surface totale du bassin versant.

Conclusion générale

Dans ce travail nous avons étudié le bassin versant du Boussellam. La quantification des pertes en sol au niveau de ce bassin versant a été réalisée à l'aide de modèle Érosion Potentiel Méthode (EPM) intégrée dans un Système d'Information Géographique sous le logiciel Arc GIS.

Les techniques de SIG ont été utilisées avec succès pour déterminer les différents paramètres qui rentrent en ligne dans le phénomène de l'érosion et qui sont nécessaire au fonctionnement du modèle EPM. Il se base sur la cartographie et la combinaison de six paramètres : la pente, la sensibilité des sols à l'érosion, l'état érosif, la protection des sols, la température et les précipitations. Ce couplage permet, d'évaluer les pertes en sols et d'estimer le poids de chaque facteur et de leurs effets combinés d'une manière rapide et efficace. Dans l'ensemble, le modèle donne des résultats acceptables permettant d'identifier les zones les plus sensibles à l'érosion, et les zones nécessitant une action prioritaire dans le bassin. Il présente un outil d'amélioration de la gestion du phénomène.

Les résultats montrent que les pertes moyennes des sols est de l'ordre de 17.60 T/ha/an, les valeurs maximales de classe (339–824) T /h/an et minimales d'érosion sont $< 2,11T /h/an$

Dans l'ensemble, le modèle donne des résultats acceptables permettant d'identifier les zones les plus sensibles à l'érosion, à risque et les zones nécessitant une action prioritaire dans le bassin. Il présente un outil d'amélioration de la gestion du phénomène.

Références bibliographiques

- [1] : DRISSI, H. E. (2020). Evaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'utilisation de SIG et le modèle EPM Cas du bassin versant du barrage de Beni Haroun (Doctoral dissertation, Univ M'sila).
- [2] : Taraq, C. H. I. K. H. I. (2017). Modélisation de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de l'Oued Sahel (Soummam) (Doctoral dissertation, Faculte de technologie/UniversiteMohamed Boudiaf-M'sila).
- [3] : Chemseddine, L. E. M. Z. A. D. M. I., & Hamza, S. A. I. D. I. (2017). Perte de capacité de stockage en eau dans quelques barrages de l'est Algérien.
- [4] : Asri ,A. (Avril 2017) .Cartographie de vulnérabilité à l'érosion hydrique du bassin Versant d'Oued Zed dine (W.Ain Defla).Mémoire présenté pour l'obtention Du diplôme de Master en Hydraulique.Département d'hydraulique urbaine .École Nationale Supérieure D'hydraulique-Arbaoui Abdellah.
- [5] : Heusch ,B.(1988). L'érosion du Pré Rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique.
- [6] E ,Roose.1994.La lutte antiérosive conventionnelle en fonction des processus et des facteurs de l'érosion hydrique.
- [7] : Mahdi, M., & Kheta, K. (2020). Estimation de l'érosion hydrique des sols sur le sous bassin versant de Boussellam-Soummam (Doctoral dissertation, Univ M'sila).
- [8] : Mokhtari, E. (2009). Contribution à l'étude du transport solide en usspension bassin de l'oued chelif-ghrib (Doctoral dissertation, Annaba).
- [9] : Chabaan, Ch. (2015-2016). Modélisation de l'érosion hydrique par le modèle seagis.cas de bassin versant du barrage siliana .master e recherche en sciences de laterre.universite de Tunis el Manar faculté des sciences de Tunis. 2015-2016
- [10] : J.J.P. Gerits, De Lima J.L.M.P et Van Den Broek T.M.W. (1990). Overland flow and érosion, in process studies in hillslope hydrology, édité par M.G. Anderson et T.P. Burt, 173-214, John Wiley & Sons Ltd, Angleterre. In Lajili, (1999).
- [11] : Sahli, Y., Mokhtari, E., Merzouk, B., Laignel, B., Vial, C., & Madani, K. (2019). Mapping surface water erosion potential in the Soummam watershed in Northeast Algeria with RUSLE model. Journal of Mountain Science, 16(7), 1606-1615.
- [12] S. Leguedois, Mécanismes de l'érosion diffuse des sols : modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse Université Orléans, INRA, 167(2003).
- [13] Auzet et al. (1995) ; Le Bissonnais, L'érosion hydrique des sols en France, (2005).
- [14] I. Douglas, Sédiment yields from forested and agricultural lands. In: Proc. Symp. On The Role of

- Water in Agriculture. (1969). University of Wales, Aberystwyth, Memorandum No. 12, pp. E1-E22 .
- [15] Govers et al., Soil roughness and overland flow. *Agronomie*, 20(2000)131-146.
- [16] R. Gimenez et G. Govers, Flow détachement by concentrated flow on smooth and irregular beds. *Soil Science Society of America Journal*, 66(2002)1475-1483.
- [17] Yalin. (1980). *Méchanics of sediment transport*, Pergamon Press, Oxford .
- [18] P.Y. Julien. *Erosion and sedimentation*, Cambridge University Press, 280 (1994).
- [29] Cheggour, A. (2008). Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi-aride et spatialisation par des SIG: Application au bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc. Haut Atlas, Maroc, Cady Ayyad, Marrakesh.
- [20] Roose, E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) (Vol. 70). Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture.
- [21] : Naulin, H., & Triplet, A. (2003). Guide technique de la lutte contre l'érosion des sols en Caps et Marais d'Opale. Parc naturel régional des caps et marais d'opale.
- [22] : Leguedois ,S. (2003). Mécanismes de l'érosion diffuse des sols : modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse Université Orléans, INRA, 167.
- [23] : J. Loup, *Les eaux terrestres, hydrologie continentale* (1974).
- [24] : Mokhtari, E. H., Merzouk, B., Chikhi, T., & Hamiche, M. S. (2017, November). Using Geographic Information System for Mapping Water Erosion of Wadi Sahel-Soummam Watershed's Soils (Algeria). In *Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration* (pp. 1741-1743). Springer, Cham.
- [25] : Mahmoud, M. (2016). Etude hydrologique du bassin versant de la Soummam (Doctoral dissertation, UNIVERSITE DE MOHAMED BOUDIAF M'SILA FACULTE DE TECHNOLOGIE).
- [26] : LAMIA, B. (2016). Cartographie des risques d'érosion des sols dans le bassin versant d'Oued Soummam (Doctoral dissertation, Université Mohamed Boudiaf-M'sila Faculté de technologie).
- [27] : A. Amour, (2010). Caractérisations des crues pluviales des sous bassins de la Soummam. Mémoire de Magister en Hydraulique générale, Université de Béjaia.
- [28] : S. Djenba,(2015). Influence des paramètres géologique, géomorphologique et hydrogéologique sur le comportement mécanique des sols de la wilaya de Setif. (Algérie). *Thèse de Doctorat en Sciences*, Université de Biskra.
- [29] : D. Sersoub, (2012). Aménagement et sauvegarde de la biodiversité de la vallée d'Oued Boussellam (Sétif).Mémoire de Magister, Université de Sétif.
- [30] M. Smaili et A. Touati, (2018). Contribution à la caractérisation des eaux de cinq sources dans le bassin versant de Boussellam, Sud-est de Bejaia-Algérie. Mémoire de Master en Toxicologie Industrielle et Environnementale, Université de Béjaia.
- [31] : Lahouari, Farid.(2009/2010) . Etude du ruissellement pluvial des sous bassins de la Soummam. Mémoire pour l'obtention du diplôme de Magister, universite de Bejaia .

- [32] : N. Ben Hamiche, (2015). Contribution à l'étude de l'influence climatique, lithologique et anthropique sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d'un aquifère du Nord-est algérien : Cas de la basse Soummam, Bejaia. Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Béjaia.
- [33] : Mahfoud, B. (2019). Evaluation des pertes en sols et leur identification dans le bassin versant d'Oued Azzerou (BBA) (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA).
- [34] : Chemseddine, L. E. M. Z. A. D. M. I., & Hamza, S. A. I. D. I. (2017). Perte de capacité de stockage en eau dans quelques barrages de l'est Algérien.
- [34] : Zeghmar, A., Marouf, N., & Mokhtari, E. (2022). Assessment of soil erosion using the GIS-based erosion potential method in the Kebir Rhumel Watershed, Northeast Algeria. *Journal of Water and Land Development*, 133-144.
- [35] : MOKHTARI, E. H. Impact de l'érosion hydrique sur l'envasement du barrage Ghrib. 2017 (Doctoral dissertation, Thèse de doctorat. Remini Boualem).
- [36] : Djeddou, M., Hameed, I. A., & Mokhtari, E. (2019, June). Soil Erosion Rate Prediction using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System (ANFIS) and Geographic Information System (GIS) of Wadi Sahel-Soummam Watershed (Algeria). In 2019 IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ-IEEE) (pp. 1-7). IEEE.
- [37] : Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.
- [38] : Gavrilovic S., 1972. Inzenjering o bujic nimitkovima i eroziji. Izgradnja (special issue), PPT, Beograd. Serbia.
- [39] Gavrilovic Z, Stefanovic M, Milovanovic I, Cotric J & Milojevic M., 2008. Torrent classification base of rational management of erosive regions. OP Conference Series: earth and environmental Science 2008. Proceedings of the 24th Conference of the Danubian countries on the hydrological forecasting and hydrological bases of water management; June 2–4; Bled. IOP Science. p. 1–8.
- [40] Gavrilovic, Z. Stefanovic M., Milojevic M. & Cotric J., 2006. Erosion Potential Method, An Important Support For Integrate Water Ressource Management. Presented at XXIII Conference of the Danubian Countries on the Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, Bled, Slovenia.