

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Mémoire de Master 2

Présenté à l'Université 08 Mai 1945 de Guelma

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de : Génie Civil & Hydraulique

Spécialité : Hydraulique

Option : Hydraulique Urbaine

Présenté par : Hadjadj Zakariya

Thème : Modélisation des flux hydro-sédimentaires et cartographie des zones à risque d'érosion hydrique par SIG (application au sous bassin du barrage oued cherf (Nord-est algerien))

Sous la direction de : DR : Balla Faiza

2019/2020

Résumé :

L'érosion est un phénomène majeur qui cause des dommages non seulement au sol et à l'agriculture, mais aussi à la qualité de l'eau s'élevant à des tonnes de matière transportées annuellement à la surface de la terre. Ce fait a attiré l'intérêt des chercheurs à comprendre son mécanisme et à en expliquer les causes et les conséquences. Ce travail est une étude comparative de l'érosion hydrique dans le bassin semi-humide de l'Oued Cherf; situé dans le nord-est de l'Algérie. Une description de l'ensemble des paramètres géomorphologiques, géologiques, hydrologiques et climatiques du bassin versant a été réalisée. L'approche retenue pour la quantification du transport sédimentaire consiste à rechercher le meilleur modèle pour représenter le rendement sédimentaire et Sur la base des quantités de sédiments obtenues ; il est constaté que les physiques facteurs : tels que les reliefs escarpés, la nature lithologique vulnérable des roches et la couverture végétale pauvre, ont considérablement contribué à accélérer l'érosion des sols. L'intégration des cartes thématiques des différents facteurs par le modèle RUSSEL (Revised Universal Soil Loss Equation) avec leurs bases de données, a permis d'une manière rapide fournir des éléments pour cartographier la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion en passant par une analyse des principaux facteurs de l'érosion à savoir la lithologie, les pentes et l'occupation du sol. Les cartes obtenues sont intégrées dans un Système d'Information Géographique (SIG ARCGIS10.1) à l'aide d'une combinaison additive pour établir une carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique. quatre classes de vulnérabilité à l'érosion ont été distinguées : les zones à faible vulnérabilité (>1.2 t/ha/an) qui représente 24.3% de la superficie totale ; les zones à vulnérabilité moyenne (1.2-4 t/ha/an) de 33.5% de sa superficie totale , les zones fortement vulnérables (4-6.55 t/ha/an) et qui représente 14% de sa superficie , les zones très fortement vulnérables (>6.55 t/ha/an) qui présente les haute reliefs de formations calcaire dans le Nord-Est du bassin de 28.5% de sa superficie totale. Cette première étude cartographique est un outil devant aider les décideurs pour l'attribution des zones de cultures et des sites pouvant abriter des infrastructures socio-économiques.

Mots clés : Erosion hydrique- Apport solide -SIG- Oued Cherf-Barrage Fum El Khanga.

ملخص :

يعد التآكل ظاهرة رئيسية تسبب أضرارًا ليس فقط للتربة والزراعة، ولكن أيضًا بجودة المياه التي تصل إلى أطنان من المواد التي يتم نقلها سنويًا إلى سطح الأرض. وقد جذبت هذه الحقيقة اهتمام الباحثين لفهم آلياتها وشرح أسبابها وعواقبها. هذا العمل عبارة عن دراسة مقارنة للتعرية المائية في الحوض شبه الرطب لوادي الشرف. تقع في الشمال الشرقي من الجزائر. تم إنتاج وصف لجميع المعلمات الجيومورفولوجية والجيولوجية والهيدرولوجية والمناخية لمستجمعات المياه. يتمثل النهج المتبع في تحديد كمية نقل الرواسب في إيجاد أفضل نموذج لتمثيل محصول الرواسب واستناداً إلى كميات الرواسب التي تم الحصول عليها؛ وجد أن العوامل الفيزيائية: مثل النقوش شديدة الانحدار، والطبيعة الصخرية الضعيفة للصخور والغطاء النباتي الرديء، لها تأثير كبير ساهم في تسريع انجراف التربة. أتاح تكامل الخرائط الموضوعية للعوامل معادلة فقدان التربة العالمية المنقحة RUSSEL (المختلفة بواسطة نموذج) مع قواعد البيانات الخاصة بهم، بسرعة توفير عناصر لرسم خرائط الضعف متعدد العوامل للتعرية من خلال التحليل العوامل الرئيسية للتآكل، وهي الصخور والمنحدرات واستخدام الأراضي. يتم دمج الخرائط التي تم الحصول عليها في نظام المعلومات الجغرافية (GIS ARCGIS10.1) باستخدام تركيبة مضافة لإنشاء خريطة التعرض للتعرية المائية. تم تمييز أربع فئات من التعرض للتعرية: مناطق الضعف المنخفض (<1.2 طن / هكتار / سنة) والتي تمثل 24.3% من إجمالي المساحة؛ المناطق ذات الضعف المتوسط (1.2-4 طن / هكتار / سنة) 33.5% من إجمالي مساحتها ، مناطق شديدة التأثير (4-6.55 طن / هكتار / سنة) والتي تمثل 14% من مساحتها ، مناطق عالية جدًا معرضة للخطر (<6.55 طن / هكتار / سنة) والتي تمثل التضاريس العالية لتكوينات الحجر الجيري في الشمال الشرقي من الحوض بنسبة 28.5% من إجمالي مساحته. هذه الدراسة الخرائطية الأولى هي أداة تهدف إلى مساعدة صانعي القرار في تخصيص مناطق الزراعة والمواقع القادرة على إيواء البنى التحتية الاجتماعية والاقتصادية.

كلمات مفتاحية: تآكل مائي -مدخلات صلبة -SIG- واد شرف -قناطر -فوم الخانقا.

Abstract :

Erosion is a major phenomenon that causes damage not only to soil and agriculture, but also to water quality amounting to tons of material carried annually to the earth's surface. This fact has attracted the interest of researchers to understand its mechanism and to explain its causes and consequences. This work is a comparative study of water erosion in the semi-humid basin of Oued Cherf; located in the northeast of Algeria. A description of all the geomorphological, geological, hydrological and climatic parameters of the watershed has been produced. The approach adopted for the quantification of sediment transport consists in finding the best model to represent the sediment yield and based on the quantities of sediment obtained; it is found that the physical factors: such as the steep reliefs, the vulnerable lithological nature of the rocks and the poor vegetation cover, have considerably contributed to accelerate soil erosion. The integration of thematic maps of the different factors by the RUSSEL model (Revised Universal Soil Loss Equation) with their databases, quickly made it possible to provide elements for mapping the multifactorial vulnerability to erosion through an analysis the main factors of erosion, namely lithology, slopes and land use. The maps obtained are integrated into a Geographic Information System (GIS ARCGIS10.1) using an additive combination to establish a map of vulnerability to water erosion. four classes of vulnerability to erosion have been distinguished: low vulnerability areas ($> 1.2 \text{ t / ha / year}$) which represents 24.3% of the total area; areas with medium vulnerability ($1.2\text{-}4 \text{ t / ha / year}$) of 33.5% of its total area, highly vulnerable areas ($4\text{-}6.55 \text{ t / ha / year}$) and which represents 14% of its area, areas very highly vulnerable ($> 6.55 \text{ t / ha / year}$) which presents the high reliefs of limestone formations in the northeast of the basin of 28.5% of its total area. This first cartographic study is a tool intended to help decision-makers for the allocation of cultivation areas and sites capable of sheltering socio-economic infrastructures.

Keywords : Water erosion- Solid input -SIG- Oued Cherf-Barrage Fum El Khanga.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé, et la patience, qu'il m'a donné durant toutes ces années d'étude.

*Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à mon Dr : **BALLA FAIZA** pour leur entière disposition, leurs judicieux conseils, leur patience, leur rigueur persévérance tout au long de mon projet.*

Sommaire :

Résumé	
REMERCIEMENTS	1
Introduction générale.....	8
Problématique de l'érosion en Algérie	8
Problématique	19

Chapitre 1: Les processus d'érosion et d'envasement dans les bassins versants

1.1. Introduction	12
1.2. L'origine et mécanisme de l'érosion hydrique.....	12
1.2.1. Détachement des particules de sol.....	13
1.2.2. Transport des particules.....	14
1.2.3. Dépôt.....	14
1.3. Les différentes formes d'érosion hydrique	15
1.3.1. Erosion en nappe.....	16
1.3.2. Erosion linéaire, en griffes ou en rigoles.....	16
1.3.2.1. Griffes	16
1.3.2.2. Rigoles	16
1.3.2.3. Les ravine	16
1.3.2.4. Les ravins	16
1.3.2.5. Les badlands	16
1.3.3. L'érosion par ravinement.....	17
1.3.3.1. L'érosion par mouvement de masse	17
1.3.3.2.Éboulement	17
1.4. Conséquences de l'érosion hydrique.....	17
1.4.1. Conséquences d'érosion hydrique en zones érodées.....	17
1.4.2. Conséquences de l'érosion hydrique en zones de dépôts.....	17
1.5. Facteurs influençant l'érosion hydrique.....	18
1.5.1. Facteurs climatiques	18
1.5.1.1. Précipitations	18
1.5.1.2. Ruissellement	18
1.5.2. Couvert végétal	20
1.5.3. Facteurs Topographique	21
1.5.3.1. La déclivité de la pente	21
1.5.3.2. La longueur de la pente	21
1.5.3.3. La forme de la pente.....	21
1.5.4. Facteurs pédologiques (érodibilité du sol)	22
1.5.5. Facteurs anthropiques	22
1.5.5.1. Le pâturage.....	22

1.5.5.2. L'incendie.....	22
1.6. Quantification de l'érosion.....	23
1.6.1. Formule de Henin "1950"	23
1.6.2. Formule de Gravelovic (1960).....	23
1.6.3. Formule de Tixeront (1960)	24
1.6.4. Formule de Fournier (1960)	25
1.6.5. Formule de poliakov	25
1.6.6. Formule de l'A.N.R.H 1970	25
1.6.7. Mesures des débits liquides et solides à l'exutoire des bassins versants	26
1.6.8. Utilisation de la télédétection et le système d'information géographique SIG	27
1.6.9. Modélisation de l'érosion hydrique.....	28
1.7. L'envasement des barrages	29
1.7.1. Définition de l'envasement	29
1.7.2. Problèmes posés par l'envasement	30
1.8. Conclusion.....	31

Chapitre 2 : Description de la zone d'étude

2.1. Introduction	33
2.2. Cadre général du terrain d'étude	33
2.3. La Situation géographique du bassin d'oued Cherf / Sedrata	34
2.4. Caractéristique morphométrique du bassin.....	35
2.4.1. Forme du bassin.....	35
2.4.1.1. Indice de compacité de Gravelius (Kc)	35
2.4.1.2. Rectangle équivalent.....	36
2.4.1.3. Caractéristique du relief	36
2.4.1.4. Analyse altimétrique	37
2.4.1.5. Interprétation de l'aspect des courbes hypsométriques	38
2.4.1.6. L'intégrale hypsométrique	40
2.4.2. Coefficient orographique	41
2.4.2.1. Indice de pente	41
2.4.2.2. Indice de pente de Roche (Ip)	42
2.4.2.3. Indice de pente globale (Ig)	43
2.4.2.4. Dénivelée spécifique (Ds)	43
2.4.2.5. Indice de pente moyenne (Im)	44
2.4.3. Caractéristiques hydrographiques	44
2.4.3.1. Rapport de confluence (Rc)	45
2.4.3.2. Rapport des longueurs (Rl)	47
2.4.3.3. La densité de drainage (Dd)	47
2.4.3.4. Coefficient de torrentialité	47
2.4.3.5. Temps de concentration	47
2.5. Sols et végétation	48
2.6. Pédologie du bassin	51

2.7. Étude Hydroclimatologie	52
2.7.1. Stations de mesure	52
2.7.2. Facteurs climatiques	53
2.7.2.1. Précipitations	53
2.7.2.1.1. Répartition moyenne mensuelle	53
2.7.2.1.2 Répartition saisonnière des précipitations	54
2.7.3. Les précipitations annuelles	55
2.7.3.1. Répartition interannuelle des précipitations.....	55
2.7.3.2. La méthode des polygones de Thiessen	56
2.7.3.3. Méthode des isohyètes	58
2.8. Conclusion.....	60

Chapitre 3 : Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique

3.1. Introduction	62
3.2. Méthode utilisée d'évaluation de l'érosion hydrique	62
3.3. Données et Méthode d'évaluation de l'érosion utilisée	62
3.4. Détermination des paramètres d'érosion	65
3.4.1. Facteur d'érosivité des pluies (R)	65
3.4.2. Facteur d'érodibilité du sol (K)	65
3.4.3. Facteur d'érodibilité K de Williams	65
3.4.4. Facteur topographique (LS)	66
3.4.5. Facteur d'exploitation du couvert	68
3.4.6. Facteur de pratique anti-érosive	70
3.5. Résultats et discussion	70
3.5.1. Calcul du facteur d'érosivité des précipitations (R)	70
3.5.2. Facteur d'érodibilité du sol (K)	73
3.5.2.1. Détermination des caractéristiques physiques des sols	73
3.5.2.2. Détermination de la texture des sols	73
3.5.3. Facteur topographique (LS)	76
3.5.3.1 Calcul du facteur LS	76
3.5.4. Les valeurs du facteur de la couverture végétale (C)	79
3.5.5. La valeur du facteur de pratique anti-érosive (P)	80
3.5.6. Evaluation des pertes en sol dans le bassin versant	80
3.5.7. Propositions d'aménagement	82
3.5.7.1. Correction des ravines	82
3.6.7.2. Aménagement De l'Oued	83
3.7. Conclusion.....	84
Conclusion générale.....	85
Références bibliographiques.....	86

Liste des figures :

Chapitre 1: Les processus d'érosion et d'envasement dans les bassins versants

- Figure 1.1. Processus de l'érosion hydrique (Cheggour, 2008).
- Figure 1.2. Effet des gouttes de pluies (effet splash).
- Figure 1.3. Mode de transport des particules dans les cours d'eau (Serbah, 2011).
- Figure 1.4. Représentation l'effet de ruissellement dans un sol imperméable.
- Figure 1.5. Représentation l'effet de ruissellement dans un sol saturé.
- Figure 1.6. Représentation l'effet de ruissellement dans un sol saturé au fond de la vallée.
- Figure 1.7. Influence de la nature du couvert végétal sur la production sédimentaire d'un bassin versant (d'après diverses mesures d'Ursic et Dendy aux USA).
- Figure 1.8. Influence de la longueur des pentes sur la production sédimentaire.
- Figure 1.9. L'érodibilité en fonction du type du sol.
- Figure 1.10. Processus d'envasement (Remini, 2009).
- Figure 1.11. Dépôt de vase (Remini, 2003).
- Figure 1.12. Envasement moyen au Maghreb (Remini, 2003).

Chapitre 2 : Description de la zone d'étude

- Figure 2.1 : Situation géographique de la zone d'étude. (Bouguerra H.Thèse de doctorat .2018).
- Figure 2.2 : Localisation du bassin versant de d'oued Cherf / Sedrata.
- Figure 2.3 : Carte d'altitude du bassin versant.
- Figure 2.4 : Interprétation de l'aspect des courbes hypsométriques.
- Figure 2.5 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'oued Cherf.
- Figure 2.6 : Histogramme de fréquences altimétriques du bassin versant de l'oued cherf.
- Figure 2.7 : Carte des pentes du bassin versant de l'oued cherf.
- Figure 2.8 : Réseau hydrographique de la zone d'étude.
- Figure 2.9 : Droite représentative du nombre de cours d'eau en fonction de l'ordre.
- Figure 2.10 : Montre que le réseau hydrographique est bien organisé, les nombres de cours d'eau d'ordre consécutif croissant composent une série géométrique inverse.
- Figure 2.11 : Occupation du sol du BV d'oued cherf.
- Figure 2.12 : Formation lithologique du bassin versant d'Oued Cherf.

Figure 2.13 : Sol du bassin d'oued cherf. Réalisée à partir de la carte du sol de l'Algérie coté Constantinois (Durand, Barbut en 1948).

Figure 2.14 : Carte de positionnement des stations pluviométriques.

Figure 2.15 : Répartition saisonnière des précipitations.

Figure 2.16. Le module pluviométrique interannuel (mm) durant la période (1970-2012).

Figure 2.17 : Le polygone de Thiessen du bassin versant d'Oued Cherf.

Figure 2.18 : Carte des isohyètes pour le bassin d'oued cherf L'application de cette méthode, donne une hauteur pluviométrique moyenne annuelle de 553.8 mm sur la totalité de la superficie du versant d'Oued cherf. Nous avons regroupés les résultats obtenus par les trois méthodes dans le tableau (2.13).

Chapitre 3 : Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique

Figure 3.1 : Schéma des procédures adoptées pour l'évaluation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Cherf.

Figure 3.2 : Perte en terre en fonction de la longueur de la pente et du type d'érosion (d'après Roose, 1994).

Figure 3.3 : Valeur du facteur du couvert végétal (Roose, 1994).

Figure 3.4 : Variation spatiale du facteur d'érosivité de pluie R en $(MJ \cdot mm \cdot ha^{-1} \cdot h^{-1} \cdot an^{-1})$.

Figure 3.5 : Distribution des classes du facteur R dans le bassin versant d'Oued Cherf.

Figure 3.6 : Distribution des classes du facteur k dans le bassin versant de l'Oued Cherf.

Figure 3.7 : Répartition spatiale du facteur d'érodibilité du sol K en $(t \cdot ha \cdot h / ha \cdot MJ \cdot mm)$.

Figure 3.8 : L'organigramme des étapes de calcul de LS (Van Remortel, 2003).

Figure 3.9 : Carte du facteur LS obtenue par superposition de la carte des longueurs de pentes et celle de l'inclinaison des pentes par le SIG.

Figure 3.10 : Carte de la classification de l'occupation du sol et le Facteur C et les répartitions de sensibilités pour chaque type d'occupation dans la région d'étude.

Figure 3.11 : Carte des pertes en sols en $(t \cdot ha^{-1} \cdot an^{-1})$ du bassin versant de l'Oued Cherf.

Figure 3.12 : Distribution des pertes en sol par rapport à la superficie.

Figure 3.13. Aménagements du Cours d'eau

Liste des tableaux :

Chapitre 1: Les processus d'érosion et d'envasement dans les bassins versants

Tableau 1.1. Formes d'érosion hydrique.

Tableau 1.2. Influence de la nature de la couverture végétale sur le ruissellement.

Tableau 1.3. Quelques modèles utilisés en Algérie Bounani (2003).

Chapitre 2 : Description de la zone d'étude

Tableau 2.1. Répartition de surface en fonction de l'altitude du bassin versant.

Tableau 2.2. Altitudes caractéristiques du bassin.

Tableau 2.3. Classe des pentes et superficies correspondantes.

Tableau 2.4. Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM.

Tableau 2.5. Classification du relief selon D_s (ORSTOM).

Tableau 2.6. Indices de pentes et de relief du bassin versant d'oued cherf.

Tableau 2.7. Paramètres morphométrique du bassin versant d'oued cherf.

Tableau 2.8. Occupation des sols du bassin versant.

Tableau 2.9. Coordonnées géographiques des stations et périodes d'observation.

Tableau 2.10. Les hauteurs moyennes mensuelles des précipitations en mm (1985-2004).

Tableau 2.11. Répartition saisonnière des précipitations.

Tableau 2.12. Pluie annuelle et la surface d'influence pour chaque station.

Tableau 2.13. Précipitations en (mm) estimées par deux méthodes.

Chapitre 3 : Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique

Tableau 3.1. Variation de l'érodibilité du sol (K) en fonction du type de sol (Stone et Hilborn, 2000).

Tableau 3.2. Variation de m en fonction de la pente.

Tableau 3.3. La valeur de (C) pour différentes cultures et pratiques.

Tableau 3.4. Valeur de C pour différents types de couvert végétal (Sadiki et al. 2004) Tableau 3.5. Valeurs du facteur P (Wischmeier & Smith, 1978).

Tableau 3.6. Les résultats du facteur R pour six stations.

Tableau 3.7. Caractéristiques physiques des sols.

Tableau 3.8. Détermination du facteur K pour chaque type de sol de la zone d'étude.

Tableau 3.9. Classification de la résistance des sols à l'érosion selon Bollinne et Rosseau (1978).

Tableau 3.10. Répartition des classes du facteur C dans le bassin versant de l'Oued Cherf.

Tableau 3.11. Répartition des pertes des sols dans le bassin versant de l'Oued Cherf.

Introduction générale :

Les environnements montagneux algériens présentent aujourd'hui un enjeu socio- économique important, c'est le siège des processus biologiques vitaux pour la continuité de la vie en milieu terrestre. Ils constituent, en effet, les fondements de la quasi-totalité de notre alimentation et de nos ressources forestières. Or, elles sont les plus vulnérables aux dégradations liées en premier lieu au développement des populations et à la pression qu'elles exercent sur les ressources naturelles qui, aujourd'hui, sont largement perturbées. L'un des aspects de cette dégradation réside dans l'érosion hydrique des sols qui s'est accélérée d'une façon alarmante au cours de ces dernières décennies. Ce phénomène qui résulte des interactions entre plusieurs facteurs dont les principaux sont les pluies, la pente, la nature du substrat des sols et l'occupation des sols est accentué par des ruissellements excessifs provoqués par des pratiques humaines qui déstabilisent et fragilisent le sol. Le surpâturage, le défrichement des forêts et les pratiques culturales inappropriées ont eu pour conséquence une augmentation de la quantité de matériaux perdus par les sols et qui se retrouvent dans les cours d'eau, les retenues des barrages, les lacs et les zones de sédimentation. Elles entraînent des conséquences néfastes sur l'économie nationale. Les plus considérables sont :

- Un sol dégradé, essentiellement sur les terres cultivées.
- Une dégradation de la qualité de l'eau due aux particules transportées
- l'envasement des barrages et la diminution de leur capacité de stockage
- les menaces qui pèsent sur les installations humaines par les crues exceptionnelles et par les mouvements de terrain.

L'homme cherche à protéger ses terres et s'acharne à lutter contre ce phénomène d'érosion.

L'érosion hydrique est définie comme étant un phénomène spatial et temporel consistant en un arrachage, un transport et un dépôt des particules du sol, sous l'effet de l'eau, provoquant des conséquences très néfastes aux milieux naturels où la productivité de la terre et la qualité des eaux sont menacés. Son mécanisme, les facteurs qui l'influencent et les conséquences qui en découlent sont bien connues dans la littérature. Les facteurs de l'érosion qui influencent les phénomènes érosifs associent le sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat (Wischmeier et Smith, 1978 ; King et le Bissonnais, 1992).

Problématique de l'érosion en Algérie :

L'érosion hydrique en Algérie constitue une contrainte majeure au développement de l'agriculture et à la promotion des activités rurales. En conséquence, environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active, la dégradation spécifique dans les bassins versants atteint 2000 tonnes/km²/an (Heddadj, 1997). Ce sont donc, en moyenne, 120 millions de tonnes de sédiments qui sont emportés annuellement par les eaux. Les conséquences directes d'un tel phénomène, sont d'abord la diminution de la fertilité des sols et la perte de surfaces agricoles, ce qui fait de l'Algérie l'un des plus gros importateurs mondiaux de produits agricoles. Ensuite la diminution annuelle de la capacité de stockage des barrages. Actuellement évaluée à 20 millions de m³.

Plusieurs organismes nationaux et internationaux ce sont mobilisés dans la lutte contre l'érosion. Nous citons à titre d'exemple

- l'administration des forêts qui, pour protéger les terres et réduire l'envasement des barrages, a imposé une stratégie d'équipement hydraulique rural appelée «Défense et restauration des sols». (ROOSE et al. 1993)

- Deux instituts de recherche l'INRF«Institut National de Recherche Forestière » et l'Orstom«Office de la recherche scientifique et technique outre-mer » ont décidé, d'unir les efforts d'une douzaine de chercheurs pour tester une nouvelle approche participative visant à la valorisation de la terre et du travail tout en réduisant les risques d'érosion en milieu rural. (ROOSE et al. 1993)

- Certains organismes nationaux comme par exemple, A.N.R.H « Agence Nationale des Ressources Hydrauliques », A.N.B.T«Agence Nationale des Barrages et Transferts », se sont attaqués également à ce problème.

Malgré tous les efforts engagés sur le terrain, la dégradation des ressources se poursuit à un rythme effréné. Cela tient d'une part à la modestie des programmes face à l'ampleur des phénomènes érosifs et d'autre part à la faible intégration d'une démarche de conservation des sols et des eaux au niveau des terres agricoles et pastorales. Face à cette situation, il est nécessaire et urgent de réfléchir à des stratégies pour évaluer les enjeux actuels et futurs. Si à l'échelle de la parcelle ce phénomène est maîtrisable, il l'est moins à l'échelle du bassin versant. L'insuffisance ou l'absence de données de jaugeage et de teneurs en sédiments rend plus complexe la connaissance et l'identification du phénomène. Seules des synthèses régionales et des études bathymétriques peuvent permettre d'identifier les zones productrices de sédiments et d'élaborer des cartes ou des abaques d'aide à la décision.

Suite à la gravité de ce phénomène d'érosion, la situation géographique et la disponibilité des données régionales, nous avons décidé d'apporter notre contribution dans la lutte contre le phénomène d'érosion dans le Nord Est de l'Algérie selon la problématique présentée ci-dessous :

Dans le nord-est de l'Algérie, les conditions géomorphologiques et socioéconomiques sont particulièrement favorables au déclenchement et à l'accélération du phénomène de l'érosion et du transport solide. Outre les pertes en terres fertiles, les sédiments transportés en suspension par les cours d'eau constituent des dépôts importants dans les réservoirs hydrauliques. Dans de nombreuses zones cultivées de la ceinture des bassins des hauts plateaux constantinois, des problèmes environnementaux graves dus à l'érosion des sols sont de plus en plus fréquents. Les dommages les plus notables sont surtout ressentis par les collectivités locales. La détermination des conditions géomorphologiques susceptibles de provoquer l'érosion et l'utilisation de modèles de prédiction de ce phénomène sont nécessaires pour l'évaluation de la dégradation du milieu et l'implémentation de mesures de conservation des sols efficaces et adaptées.

Depuis des années de nombreux efforts de recherche ont été investis dans le développement de modèles à base physique qui reflètent le niveau des connaissances dans la compréhension des processus. Les efforts de développement investis dans la modélisation ont permis de générer des pistes de recherches et d'améliorer nos connaissances des mécanismes de l'érosion. Toutefois, il y a un besoin pour une cartographie spatialisée et numérique, qui se concentre sur les facteurs physiques et les processus dominants opérant au niveau du bassin versant. Le fonctionnement hydro-sédimentaire à base de

mesure des débits et des sédiments reste le moyen le plus adéquat pour la modélisation de l'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant.

Dans ce contexte et pour mieux comprendre l'influence des facteurs naturels sur le phénomène de la dégradation des milieux physiques à savoir les bassins versants des hauts plateaux constantinois, on s'intéresse à l'élaboration de modèles de prédiction de l'érosion à l'échelle du bassin versant qui s'appuie sur une paramétrisation simple. Les sols des régions semi-arides et arides subissent de façon variable les effets de l'érosion hydrique, principal facteur de la dégradation de cette ressource. Peu de travaux sur la compréhension des flux hydro-sédimentaires ont été réalisés dans le nord-est algérien. La lutte contre l'érosion hydrique en particulier et la complexité de ce phénomène imposent aujourd'hui l'utilisation de méthodes, modèles et moyens performants pour la gestion de l'information géographique tels que la télédétection et le SIG (Système d'Information Géographique). C'est dans cette optique que s'intègre ce travail, dont l'objectif principal est de contribuer à la compréhension et à l'évaluation du risque potentiel d'érosion dans les bassins versant de l'Oued cherf.

Chapitre 1 :

Les processus d'érosion dans les bassins versants

1.1. Introduction :

Dans la littérature, il existe toute une panoplie d'informations sur l'érosion des sols, principalement le mécanisme, les facteurs qui l'influencent, les conséquences qui en découlent ainsi que des méthodes d'analyse.

Selon la FAO (1994) l'érosion vient du verbe latin "ERODERE" qui signifie "ronger". Elle représente l'ensemble des phénomènes qui contribuent, sous l'action d'un agent d'érosion à modifier les formes de relief que sont les sommets de plateau, les rebords de plateau, les talus, les corniches, les terrasses, les versants.

Cette modification se fait par ablation de matières (sols et roches), mais aussi par accumulation de la matière arrachée (Domingo., 1996).

Les effets néfastes de l'érosion hydrique des sols ont été soulignés depuis longtemps par de nombreux auteurs, parmi lesquels et les plus récents (Kirby & Morgan, 1980 , Auzet, 1987, Boardman et al, 1990 ; DePloy, 1990 ; De Ploy, 1991 ; Le Bissonnais, 1998 et 1999, etc.). L'érosion des sols qui n'épargne aucune région du globe est caractérisée par trois étapes, correspond d'abord au « détachement » de particules de sols puis au « transport », par différents agents (vent, eau, glace, gravité), de leur emplacement d'origine à un endroit de « dépôt ou accumulation » en aval, qui est l'ultime étape de l'érosion (De Pina Tavares, 2012).

D'une manière générale, l'érosion, le transport des matériaux arrachés au bassin d'alimentation et au réseau d'écoulement, leur dépôt dans les infrastructures hydrauliques, hydro-agricoles, portuaires et routières sont un ensemble de phénomènes dont la complexité à l'échelle du bassin reste difficile à mettre en équation vu la diversité des facteurs aussi bien naturels qu'anthropiques mis en jeu (Touaibia, 2010). L'érosion géologique (des fois appelée érosion naturelle ou normale) engendrée par l'eau de pluies sous forme liquide, solide, l'écoulement des eaux. L'autre est l'érosion accélérée, dont le principal responsable est l'activité anthropique, notamment la déforestation, l'agriculture, l'élevage des animaux, la construction (El-Swaify et al., 1983).

1.2.L'origine et mécanisme de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique résulte de divers processus que sont le détachement, le transport et le dépôt ou la sédimentation. L'érosion est un processus selon lequel les particules de sol sont arrachées au bassin d'alimentation et au réseau d'écoulement, Ces processus résultent de trois phases : détachement, transport et dépôt (fig.1.1).

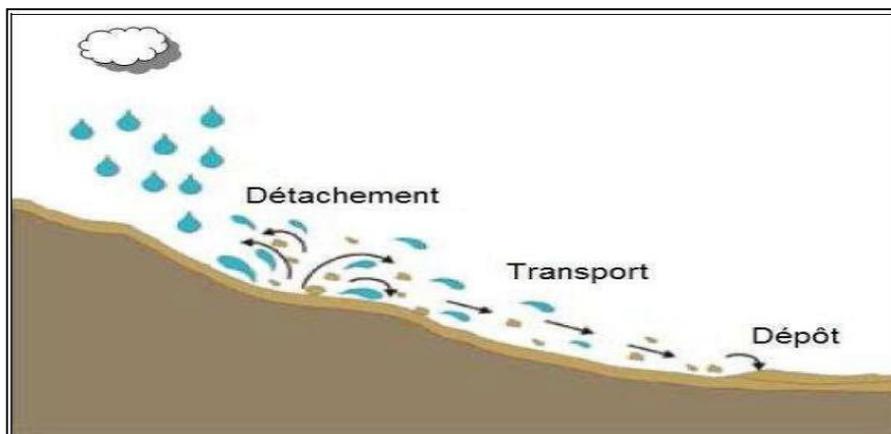


Figure 1.1. Processus de l'érosion hydrique (Cheggour, 2008)

Ce phénomène causés par l'action en général combinée de la pluie et du ruissellement, et dont l'expression varie en fonction de la résistance du milieu (sol, couvert végétal, techniques culturales) et de la topographie.

1.2.1. Détachement des particules de sol :

Le détachement des particules se produit à la surface du sol lorsque, sous l'action des gouttes de pluie, des agrégats s'éclaboussent ou lorsque la force de cisaillement du ruissellement devient supérieure à la résistance au détachement du sol (LTHE, 2007). Provoquant l'érosion et liés à l'énergie de la pluie ou à l'énergie de l'écoulement de l'eau (Ellison, 1944; Ekern, 1950 ; Leguédois, 2003).

Le détachement mobilisant les fines particules de la surface du sol peut être assuré de deux manières (Boiffin, 1994), due à la fois aux gouttes d'eau par rejaillissement (splash) et aux eaux de ruissellement. L'impact des gouttes de pluie brise les agrégats du sol en éléments plus fins. Les premières gouttes s'infiltrent dans le sol d'autant plus aisément qu'il est meuble et que sa porosité est élevée. Cette première phase s'accompagne d'un déplacement des particules et d'un tassement du sol. Lorsque la couche superficielle s'humidifie, trois processus se développent simultanément:

- La dégradation de la structure
- La formation d'une pellicule de battance
- L'érosion par splash ou érosion par rejaillissement.

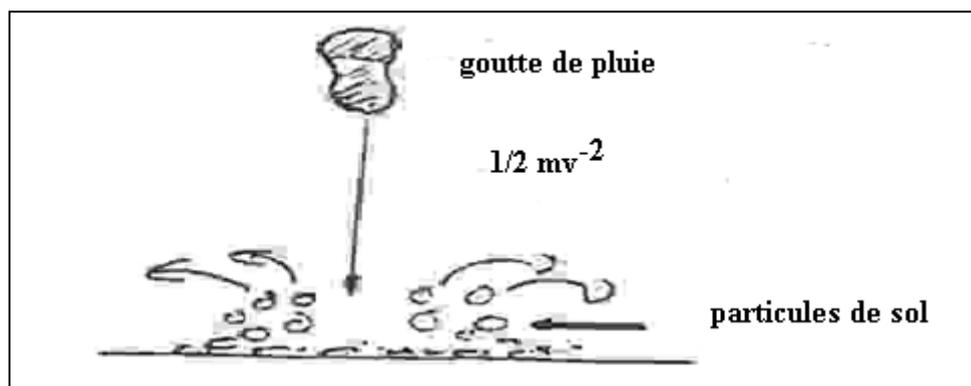


Figure 1.2.Effet des gouttes de pluies (effet splash)

1.2.2. Transport des particules :

Les particules issues de la dissociation, grossières ou fines, sont ultérieurement déplacées vers l'aval sous l'action de la gravité. Certains, comme les cailloux d'éboulis et les blocs d'éboulement, tombent directement. D'autres, les plus fins, sont véhiculés par un agent de transport, généralement l'eau. La force du véhicule règle naturellement la taille des sédiments; le vent ne pouvant déplacer que les poussières et les fins grains de sable, tandis que les torrents charrient du sable, du gravier et des galets (Démangeot, 2000). Les particules arrachées peuvent être transportées de trois manières par l'écoulement (Yalin, 1980; Govers et al. 2000) :

- **En suspension** : l'écoulement ou l'impact des gouttes de pluie sur la lame d'eau provoque une turbulence qui maintient les particules fines en suspension. Ces particules fines sont alors transportées sur de grandes distances.
- **Par roulement** : lorsque l'écoulement devient important, il peut arracher de plus grosses particules mais ne peut les mettre en suspension. La force de l'écoulement les roule sur le fond.

- **Par saltation** : lorsque les particules sont de grosseur moyenne, elles peuvent se déplacer par sauts successifs (saltation). Ce phénomène est surtout important avec le vent.

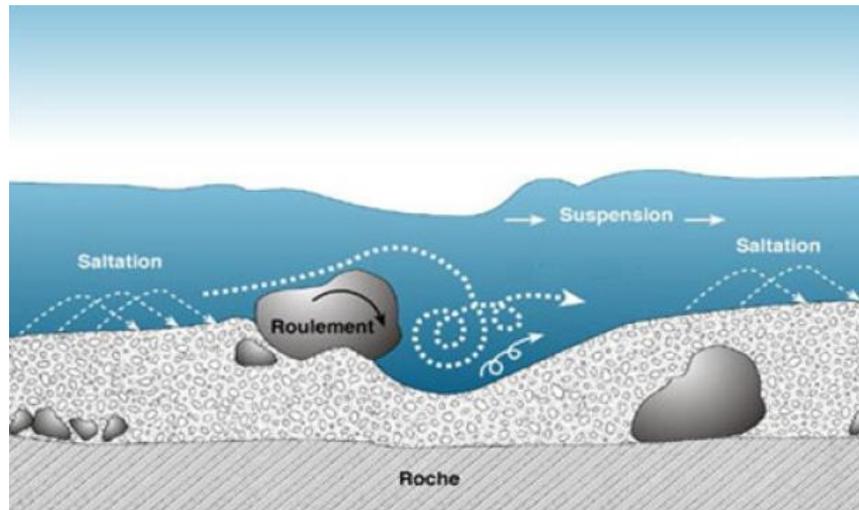


Figure 1.3. Mode de transport des particules dans les cours d'eau (Serbah, 2011)

1.2.3. Dépôt :

Il s'effectue lorsque l'énergie cinétique qui déplace les matériaux issus du détachement, diminue ou s'annule (Démangeot 2000). Les particules arrachées se déposent entre le lieu d'origine et les mers. La vitesse de l'écoulement diminue, le poids des particules devient plus important que les forces de turbulence ou de roulement et les particules se déposent. Les plus grosses se déposent en premier et les plus petites par la suite.

1.3. Les différentes formes d'érosion hydrique :

La pluie est l'élément déclencheur de ce type d'érosion, qui provoque le détachement des particules élémentaires 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. Celle-ci existe en plusieurs formes :

1.3.1. Erosion en nappe :

L'érosion en nappe est régie par deux processus :

On parle d'érosion en nappe ou aréolaire 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. L'érosion en nappe peut entraîner un décapage de la majorité de l'horizon humifère en quelques dizaines d'années. Le signe le plus connu de l'érosion en nappe est donc la présence de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés, les plus agressés des champs (haut de collines, et rupture de pentes).

La cause de l'érosion en nappe est l'énergie de la battance des pluies sur les sols dénudés. L'arrachement des particules de terre vient de l'énergie des gouttes de pluie, lesquelles sont caractérisées par une vitesse de chute (fonction de leur hauteur de chute et de la vitesse du vent) et par un certain poids, fonction de leurs diamètres.

C'est au cours de la battance des pluies que des particules ou même des agrégats vont quitter les mottes pour sédimenter dans les creux et y former des croûtes de sédimentation à très faible capacité d'infiltration.

Les signes qui permettent de caractériser l'érosion en nappe sont l'apparition de plages de couleur claire aux endroits les plus découpés et la remontée de cailloux à la surface du sol, les conséquences de l'érosion en nappe sont:

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



Photo 1.1. Erosion en nappe de Beni Chougrane, près de Mascara (Algérie).
(Morsli, 2006)

1.3.2. Erosion linéaire, en griffes ou en rigoles :

Dès qu'il y a ruissellement, s'organisent les transports des particules légères (les matières organiques, les résidus de culture, les déjections animales) et également des transports des particules fines (argile, limons et sables). L'érosion linéaire apparaît lorsque le ruissellement en nappe s'organise, il creuse des formes de plus en plus profondes (voir tableau 1.1).

1.3.2.1. Griffes : lorsque les petits canaux ont quelques centimètres de profondeur.

1.3.2.2. Rigoles : lorsque les canaux dépassent 10 cm de profondeur mais sont encore effaçables par les techniques culturales.

1.3.2.3. Les ravines : lorsque les creux atteignent plusieurs dizaines de cm (plus de 50 cm) et en particulier, lorsqu'ils ne sont plus effaçables par les techniques culturales. Ce sont des anciens rigoles qui continuent de s'approfondir, elles peuvent arriver 1 mètre, occupent surtout les terres agricoles ou les terres abandonnées. Tableau 1.

1. Formes d'érosion hydrique

Formes	Tracé	Longueur	Largeur	Profondeur
Griffe	Sinueux	< 1 m	< 10 cm	5-6 cm
Rigole	Sinueux	Dizaine de m	5-70 cm	10- 30 cm
Ravine	Peu sinueux	Centaine de m	50cm à 1 m	30-50 cm
Petit ravin	Peu sinueux	Centaine de m	50 cm à 1m	50-200 cm

1.3.2.4. Les ravins : la profondeur peu arrive à dizaine de mètre, en cherchant un profil de stabilité, ce type se situe dans les zones à dominance des formations meubles ; sur les piedmonts et les plaines. Il y en a trois processus de ravinement :

- **Les ravinements en V :** Dans la nature, on les observe le plus souvent qui s'impriment dans un matériau homogène, plus ou moins meuble, sablo-argileux ; argileux, marneux ou schisteux. Les versants de ces ravines évoluent par altération de la roche : en saison froide par alternance de gelées et de soleil, en saison chaude, par alternance de périodes sèches et d'averses. On observe en milieu méditerranéen une altération des marnes et des schistes qui peut atteindre 4 à 10 mm par an.

- **Ravines en U :** s'observe fréquemment dans la nature sur des matériaux hétérogènes. Soit elles ont un fond constitué de matériaux très résistants : lors des crues exceptionnelles le canal va donc s'élargir latéralement par effondrement. Soit, la couche de résistance se trouve en surface, le ruissellement creuse alors profondément le matériau jusqu'à atteindre une nappe d'eau temporaire ou permanente qui va exercer une poussée latérale sur le bas du versant jusqu'à ce que celui-ci s'effondre (sapement de berges). Ici également il sera nécessaire de fixer le fond de la ravine, de retenir les sédiments jusqu'à obtenir une pente d'équilibre des versants.

- **Ravinement en tunnel :** l'érosion en tunnel (tunneling). Elle peut se développer sur des pentes faibles, dans un matériau fissuré en surface, soit sur des sols riches en argiles gonflantes (vertisols, sols bruns tropicaux, etc...), soit sur des marnes riches en gypse ou en d'autres minéraux solubles (fréquent dans le bassin méditerranéen).

1.3.2.5. Les badlands : la phase finale de la dégradation du milieu naturel, on peut les définir comme un groupement de ravins embrassant séparés par des crêtes d'interfluve aigue.

1.3.3. L'érosion par ravinement :

La ravine est une rigole approfondie où se concentrent les filets d'eau. La rigole se transforme en ravine lorsque sa profondeur interdit son nivellement par des simples instruments aratoires. Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion. Les ravines peuvent atteindre des dimensions considérables.

L'approfondissement des ravines remonte du bas vers le haut de la pente (érosion régressive). Cette forme d'érosion peut transformer le paysage en "badlands" et explique également la sape d'ouvrages (ponts, radiers, digues filtrantes...).

1.3.3.1. L'érosion par mouvement de masse :

Se présente essentiellement sous formes :

- **Mouvement humide :** cause par l'écoulement, le sapement latérale, provoque un état de déséquilibre des berges, ce qui détruit des masses de sol dans le talweg.

- **Mouvement à sec :** il existe deux types :

- **Écroulement et chute des pierres :** elle est de volume inférieur à 1 dm³, qui tombent brusquement sur les versants de pente assez redressée.

Mouvement par gravité dû la raideur du versant et humidité du soubassement.

1.3.3.2. Éboulement :

Les éboulements sont très dangereux, car il s'agit de gros blocs qui se détachent des hautes versant de fortes pentes, et avec leurs masses se déplacent avec une vitesse extraordinaire jusque au piedmont ou ils s'éclatent.

1.4. Conséquences de l'érosion hydrique :

Les conséquences de l'érosion hydrique des sols sont nombreuses tant en zones érodées qu'en zones de dépôts :

1.4.1. Conséquences d'érosion hydrique en zones érodées :

L'érosion hydrique a des effets sur les zones érodées, parmi lesquels on cite :

- La teneur en humus et en éléments nutritifs du sol décroît.
- La capacité de rétention en eau du sol diminue.
- La stabilité structurale du sol décroît.
- la diminution du drainage profond induisant une moindre réalimentation des nappes.

Cet appauvrissement est lié au double effet de décapage des horizons supérieurs, habituellement les plus fertiles, et de sélectivité de l'érosion qui entraîne les éléments les plus fertiles.

- la dégradation des terres agricoles et une désertification du milieu naturel (*FAO, 1980*).
- déchaussements, des plantes emportées ou recouvrement de la culture.
- la baisse des rendements des cultures, une augmentation des coûts de production des aliments (*FAO, 1983*).

1.4.2. Conséquences de l'érosion hydrique en zones de dépôts :

La sédimentation et les transports solides sont gênants pour une majorité d'aménagement. Ils se traduisent par :

- une réduction de la capacité des lits de rivières et un risque d'inondation des terres voisines.
- envasement accéléré des fossés de drainage, des canaux d'irrigation et des réservoirs (bassins).
- une sédimentation des sols érodés dans des endroits non désirables (*FAO, 1977*).
- une augmentation du coût de traitement des eaux de consommation.
- La destruction de routes, chemins et ponts.
- un transfert et répartition spatiale des polluants (pesticides, métaux lourds et nutriments en excès) dans l'environnement.

1.5. Facteurs influençant l'érosion hydrique :

Plusieurs facteurs influent directement ou indirectement sur le processus de l'érosion du bassin versant, le climat et l'hydrologie, la morphologie du site, le sol, la végétation et Les activités humaines

1.5.1. Facteurs climatiques :

1.5.1.1. Précipitations :

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

L'efficacité de la pluie vis à vis des processus d'érosion est liée aux rôles qu'elle a dans le détachement des particules des sols et surtout dans la formation du ruissellement (Macary et Berville., 2003).

1.5.1.2. Ruissellement :

L'eau ruisselle sur le sol sous forme d'une lame d'eau en filets diffus ou en écoulement concentré. Elle exerce sur le sol une force de cisaillement qui arrache les particules puis les transporte. Les conditions d'arrachement, de transport et finalement de dépôt dépendent de la vitesse du courant et de la taille des particules. Il existe ainsi pour un sol donné une vitesse critique d'arrachement et une vitesse limite au-dessous de laquelle les particules sédimentent.

Trois théories pour expliquer la naissance du ruissellement :

Théorie d'Horton : Le ruissellement naît lorsque l'intensité des pluies est supérieure à la capacité d'infiltration du sol.

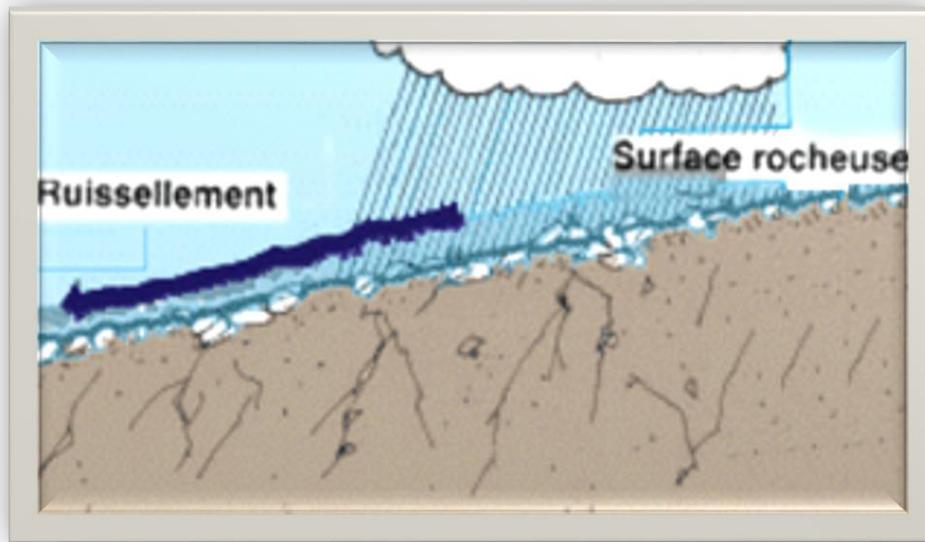


Figure 1.4 : Représentation l'effet de ruissellement dans un sol imperméable

Théorie de la saturation du milieu : Le ruissellement naît lorsque l'espace poreux du sol est saturé.



Figure 1.5: Représentation l'effet de ruissellement dans un sol saturé

Théorie de la contribution partielle de la surface du bassin au ruissellement : on constate que le ruissellement observé au niveau de la rivière est fonction de la surface du sol saturé au fond de la vallée.

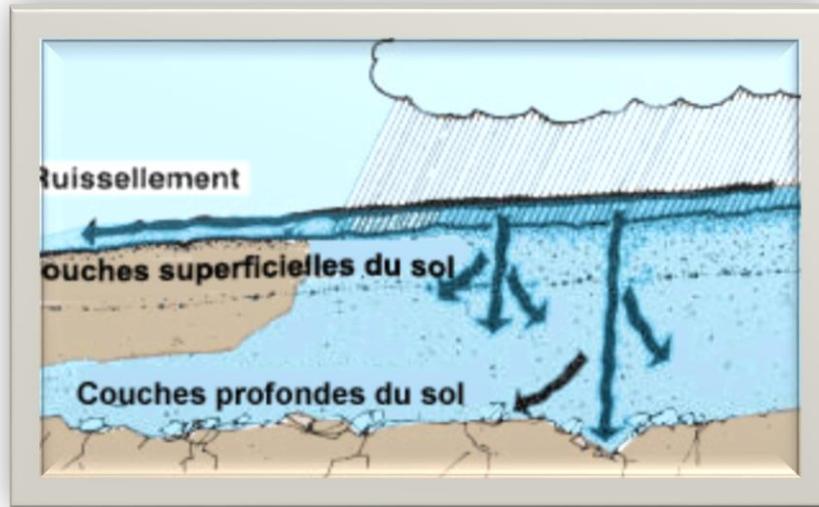


Figure1.6 : Représentation l'effet de ruissellement dans un sol saturé au fond de la vallée.

1.5.2. Couvert végétal :

Le risque d'érosion augmente lorsque le sol n'a qu'un faible couvert végétal ou de résidus. Les résidus et la végétation protègent le sol de l'impact des gouttes de pluie et de l'éclaboussement. Ils tendent à ralentir la vitesse de l'eau de ruissellement et permettent une meilleure infiltration.

L'efficacité du couvert végétal et de résidus à réduire l'érosion dépend du type, de l'étendue et de la densité du couvert végétal. La végétation et les résidus combinés, couvrant complètement le sol, interceptent la pluie et sont le moyen le plus efficace pour réduire les pertes de sol. Les résidus partiellement incorporés et leurs racines ont aussi leur importance, parce qu'ils facilitent l'infiltration. (Arnold et al, 1989). En générale, on peut résumer l'effet protecteur des principaux types de végétation selon l'ordre décroissant suivant :

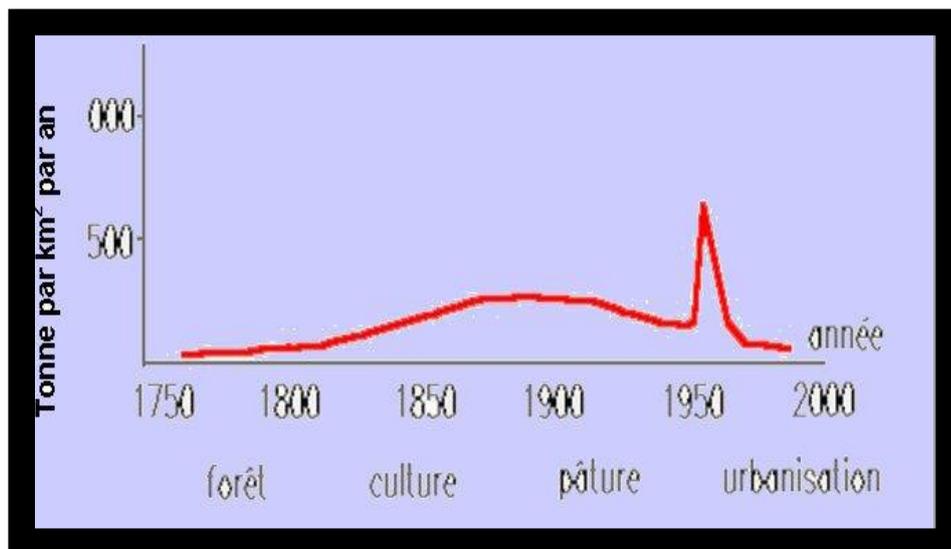


Figure1.7 : Influence de la nature du couvert végétal sur la production sédimentaire d'un bassin versant (d'après diverses mesures d'Ursic et Dendy aux USA).

En d'autres termes, l'action protectrice de la couverture végétale contre le ruissellement dépend de type de végétation installé sur le sol. Un exemple de cet effet protecteur est illustré par les données consignées sur le tableau 1.2.

Tableau1.2: Influence de la nature de la couverture végétale sur le ruissellement.

Nature du couvert végétal	Ruissellement/infiltration
Forêt	2%
Prairies	5 %
Culture du blé	25 %
Culture du maïs	50 %

1.5.3. Facteurs Topographique :

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

1.5.3.1. La déclivité de la pente :

La pente est un facteur important d'érosion car elle favorise Le ruissellement qui détache puis transporte les particules solides en provoquant l'érosion.

Le ruissellement et l'érosion commencent sur des pentes faibles (1 à 2 %), également plus la pente est grande plus le ruissellement et l'érosion seront importants.

1.5.3.2. La longueur de la pente :

En principe, plus la pente est longue, plus le ruissellement s'accumule, prend de la vitesse et de l'énergie et plus l'érosion s'intensifie.

Il semble que l'influence de la longueur de pente est d'autant plus importante que le ruissellement a la possibilité de se concentrer. Par contre, l'influence est probablement nulle en absence du ruissellement.

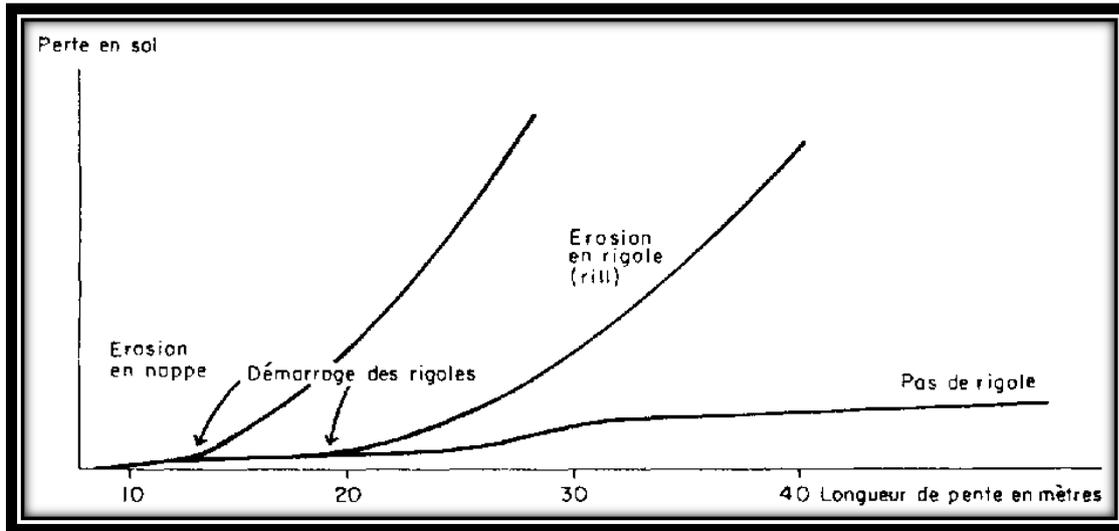


Figure 1.8 : Influence de la longueur des pentes sur la production sédimentaire

1.5.3.3. La forme de la pente

Une pente donnée a tendance à devenir de plus en plus concave parce que les produits arrachés au sommet s'accumulent en bas de la pente. Cette évolution est parfois sensible et se traduit parfois par une diminution de l'érosion au cours du temps. Ainsi, une rupture de pente concave favorise le dépôt, à moins qu'elle ne facilite la concentration alors qu'une rupture de pente convexe se traduit par un accroissement de la vitesse d'écoulement et de la contrainte de cisaillement exercée sur le sol si l'eau n'est pas dispersée.

1.5.4. Facteurs pédologiques (érodibilité du sol):

Ce facteur le plus important est la résistance (stabilité) des agrégats à l'impact des gouttes de pluie. Cette résistance ou cette stabilité est influencée positivement par la présence d'agents liants tels que les argiles, la matière organique et le calcium. Ainsi, les sols de texture limoneuse sont généralement plus sensibles que les sols argileux à cause de leur faible stabilité structurale.

La structure et texture des sols, leur perméabilité, la présence de certains éléments chimiques et la teneur en matières organiques conditionnent l'érodibilité des sols.

Plusieurs paramètres sont aussi considérés dans l'analyse de la sensibilité d'un sol à l'érosion. Ces paramètres sont la capacité d'infiltration, la stabilité structurale, la texture, la teneur en matière organique.

Elle n'est pas homogène dans l'espace et elle évolue dans le temps : elle augmente au cours de la saison des pluies et varie en fonction des caractéristiques des sols, de l'âge du défrichement et des techniques culturales.

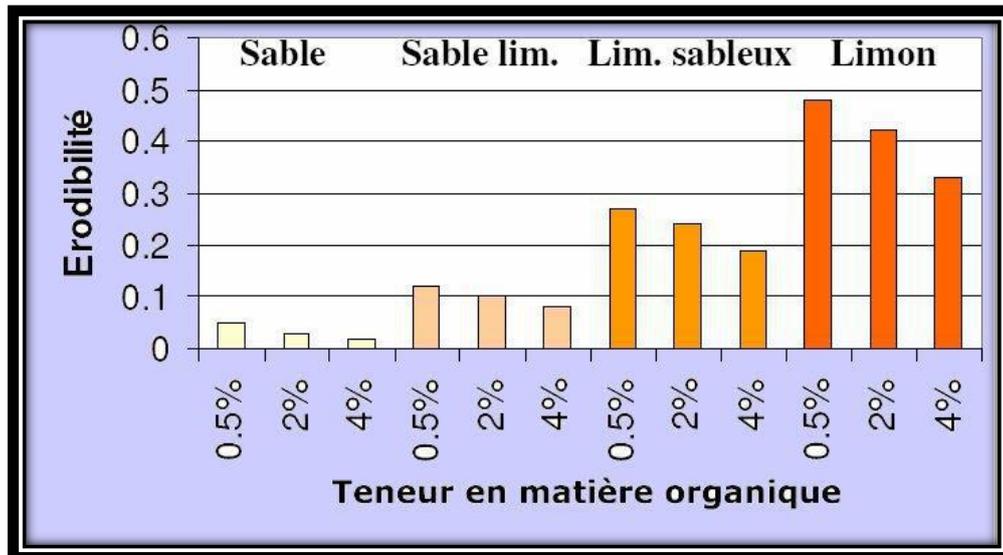


Figure1.9: L'érodibilité en fonction du type du sol

1.5.5. Facteurs anthropiques :

L'érosion est devenue essentiellement une conséquence directe de l'activité humaine qui représente maintenant le principal facteur de la dégradation des sols. L'homme peut être à l'origine du déclenchement et de l'accélération de l'érosion par ses actions de défrichement des forêts, incendies et surpâturages et pratiques culturales. De plus, les aménagements routiers et urbains, en augmentant les surfaces imperméables, exacerbent les inondations, favorisent le ruissellement et donc constituent un facteur d'entraînement du sol.

1.5.5.1. Le pâturage

L'espace pastoral s'amenuise suite au surpâturage. La disparition de la couverture végétale, laisse donc des surfaces importantes du sol non protégées et par la suite plus exposées aux effets érosifs de l'eau de la pluie et du ruissellement.

1.5.5.2. L'incendie

Puisque le feu endommage et ravage le couvert végétal, cela sous-entend un risque élevé d'érosion. En fait, les zones sans aucune couverture végétale courent toujours un plus grand risque de forte érosion que les autres.

1.6. Quantification de l'érosion

Les méthodes expérimentales de calcul des bilans d'érosion sont souvent difficiles à mettre en œuvre. L'aspect quantitatif de la désagrégation des sols, du fait de sa complexité, peut être effectuée selon deux approches. La première consiste à quantifier l'érosion par le biais de modèles impliquant des paramètres morphologiques, climatiques et hydrologiques. La seconde consiste à estimer les quantités de matières en suspension évacuées par les cours d'eau d'écoulement à l'exutoire du système étudié. La plupart des mesures de quantification de l'érosion sont faites sur des parcelles de taille standard (*Wischmeier et al., 1971 ; Roose, 1967, 1998*) tandis que, l'étude des transferts en suspension à l'échelle du bassin versant s'avère être un outil efficace pour comprendre et quantifier les processus d'érosion des sols.

Selon, *Albergel et al. (2001, 2003)*, Il existe plusieurs formules et méthodes empiriques permettant de quantifier l'érosion hydrique. On citera quelques formules basées sur des paramètres physiques

représentatifs. Ces modèles ont été appliqués dans les différentes régions maghrébines (*Bouanani, 2005*).

1.6.1. Formule de Henin "1950" :

Cette formule symbolise la relation existante entre l'érosion et les facteurs susceptibles de la favoriser ou de la limiter. La quantification de l'érosion spécifique "Es" est donnée par la formule :

$$E_s = \frac{I_p \times I \times S}{K \times V_e}$$

Où

I_p : Intensité des précipitations;

I : Pente du bassin versant; Les facteurs " I_p " et " I " favorisent l'érosion

S : Susceptibilité des sols;

K : Perméabilité;

V_e : Végétation.

Les facteurs S , K et V_e limitent l'érosion et en plus, les facteurs S et V_e semblent les plus difficiles à quantifier.

1.6.2. Formule de Grivilovic (1960):

Il a défini l'érosion spécifique, comme étant proportionnelle à la température, à la pluie et à un coefficient d'érosion, l'équation est donnée par l'expression :

$$E_s = 3.14 \times T \times P_0 \sqrt{Z^3}$$

Avec

E_s : érosion spécifique dans le bassin versant (T/km².an)

T : coefficient de température

$$T = \sqrt{\frac{t_0}{10}} + 0.1$$

Avec :

t_0 : température moyenne annuelle en 0c.

P_0 : pluie annuelle en (mm).

Z : coefficient d'érosion.

$$Z = y \times [x \times a] \times (\delta + \sqrt{I_{moy}})$$

y : valeur du coefficient de la résistance du sol dû à l'érosion. Il dépend de la roche mère, le type du sol et du climat.

[x.a] : Coefficient de régularisation du bassin versant, se rapportant à la protection des sols, Des influences des phénomènes atmosphériques des forces érosives liées aux conditions naturelles. Il est aussi tabulé.

δ : équivalent numérique des processus visibles et nettement prononcés dans le bassin versant.

Imoy : indice de pente moyenne du bassin versant.

1.6.3. Formule de Tixeront (1960) :

$$E_s = [S_1.Ta_1 + S_2.Ta_2 + S_3.Ta_3 + \dots \dots \dots S_n.Ta_n)$$

Avec :

Es : Erosion spécifique (t/Km2.an).

Ta1, Ta2, Tan : Taux d'abrasion en fonction de la perméabilité du sol dans les sous Bassin (T/Km2).

S : superficie totale du bassin (Km2).

S1, S2, Sn : Superficie des sous bassins(Km2).

Maintenant, si on suppose que la totalité du bassin possède une même perméabilité,

$$\text{On a} \quad E_s = K \times L_e$$

Le : lame d'eau ruisselée moyenne interannuelle (mm).

K : constante.

K : coefficient qui tient compte de la perméabilité des terrains.

K = 8,5 pour les terrains d'une perméabilité élevée.

K = 75 pour les terrains d'une perméabilité moyenne élevée.

K = 350 pour les terrains d'une perméabilité faible à moyenne.

K = 1400 pour les terrains d'une perméabilité faible.

K = 3200 pour les terrains perméables.

1.6.4. Formule de Fournier (1960) :

$$Q_s = \frac{1}{36} \times \left[\frac{P^2}{P_a} \right]^{2.65} \left[\frac{H_{moy}^2}{S} \right]^{0.46}$$

Avec ;

Qs : l'apport solide moyen inter annuel (en T/Km2.an).

P : la pluviométrie du mois le plus arrosé (en mm).

Hmoy : l'altitude moyenne (en mm).

Pa : la pluviométrie moyenne interannuelle (en mm).

S : superficie du bassin versant (en Km2).

1.6.5. Formule de poliakov :

$$Es = A \times K \times Q \times I^{1/2}$$

Q : Débit de ruissellement de surface.

K =104 : proportionnalité.

I = 0.16 : la pente moyenne du bassin versant

A =0,5-10 : Coefficient d'érosion variant en fonction des types de sol.

On prend : A= 2.

1.6.6. Formule de l'A.N.R.H 1970 :

$$T_{ss} = 26,62 I_e + 5,071 I_P + 9,77 C_t - 593,59$$

T_{ss} : transport solide spécifique moyen annuel (T/Km².an)

I_e: indice lithologique (%).

I_P : indice des précipitations (%).

C_t : Coefficient de torrencialité :

$$C_t = D_d \times F_1$$

$$D_d = \frac{\sum L_l}{A}$$

D_d : densité de drainage

L_l : longueur de tous les cours d'eau d'ordre « 1 » (K m).

F₁ = nombre de talweg/ surface fréquence des talwegs élémentaires

Cette formule est applicable dans les conditions suivantes :

$$I_e > 10\%$$

$$I_P > 300$$

1.6.7. Mesures des débits liquides et solides à l'exutoire des bassins versants :

L'évaluation des volumes de matériaux fins érodés et exportés d'un bassin versant se fait par des mesures conjointes de débits et de concentration en sédiments ou matières en suspension (MES). La méthode la plus rigoureuse pour obtenir la charge solide en suspension consiste à procéder, comme pour la mesure du débit, à une intégration de différentes concentrations et de vitesses sur plusieurs verticales, cette technique nécessite un matériel adapté. Le dispositif de prélèvement le plus simple est la bouteille d'échantillonnage. La mobilisation et le transport des matériaux solides par l'écoulement de l'eau représentent deux phénomènes distincts, mais liés entre eux. Le transport solide en suspension peut s'exprimer par (*Ammari, 2012*):

$$Q_s = Q_l \cdot C_s$$

Sachant que :

Q_s : débit solide.

Q_l : débit liquide.

C_s : Concentration de sédiments.

La concentration des sédiments en suspension C_s et le débit liquide évoluent en général suivant un modèle de puissance (*Walling et al, 1981*).

$$Y = a \cdot x^b$$

$$C_s = a \cdot Q_l^{b-1}$$

Une autre relation empirique communément appelée courbe du transport solide (*Cambell et al, 1940 ; Crawford, 1991*) lie le débit solide au débit liquide :

$$Q_s = a \cdot Q_l^b$$

Ce type de relation a été proposé dès 1895 par *Kennedy*, (*Touaïbia, 2000*). Depuis, plusieurs chercheurs ont essayé d'identifier surtout la valeur de l'exposant b . (*Leopold et al, 1953*) proposent pour les rivières de l'ouest des Etats Unis d'Amérique des valeurs de b variant entre 2 et 3, d'autres auteurs tels que *Wood (1977)*, *Walling et Webb (1981,1982)*, ainsi que *Probst et Bazerabachi (1986)* les limitent entre 1 et 2, en fonction des caractéristiques physiques, climatiques et hydrologiques des bassins versants, ou des conditions hydrauliques de l'écoulement dans les cours d'eau.

En Algérie beaucoup d'auteurs ont travaillé sur le développement de pareils modèles pour l'estimation du débit solide en fonction du débit liquide. Les modèles ont variés selon la zone d'étude, mais aussi selon une échelle temporelle, donc ces modèles dans l'espace et dans le temps, ce n'est en aucun cas des modèles intrinsèques (*Ammari, 2012*).

Tableau 1.3. Quelques modèles utilisés en Algérie *Bounani(2003)*.

Bassin région	Modèle	Equation	Auteur
Massif central (France)	Puissance	$Q_l = 16 P^2$	Coutagne
Bassins algériens	Puissance	$Q_l = 11.8 P^{2.82}$	A.N.R.H
Bassins algériens	Linéaire	$Q_l = 0.736 (P - 404)$	Samie
Oued M'richa (Algérie)	Polynôme	$Q_l = 50.6 P^2 - 3.54 P$	Roeder
Oued Ouergha (Maroc)	Puissance	$A_l = 690 A_s^{0.58}$	Lahlou
Medjerda supérieur (Algérie)	Linéaire	$A_s = 1.06 E - 66.2$	Bourouba
La garonne (France)	Puissance	$C = 3.6 \cdot 10^{-3} Q_l^{1.583}$	Probst & Bazerabachi

D'autre part, les mesures des exportations de matières grossières par charriage au fond de la rivière sont nettement plus complexes à mettre en œuvre et sont souvent ignorées par les expérimentateurs.

De manière générale, on ne peut pas se contenter seulement de la mesure des exportations à l'exutoire, car la seule connaissance de cette donnée ne permet ni de localiser les zones sources de sédiment, ni d'évaluer les pertes en terre que subissent les parcelles constituant ces zones sources (*Boiffin, 1994*).

1.6.8. Utilisation de la télédétection et le système d'information géographique SIG :

Plusieurs études durant ces dernières années ont mis en évidence l'intérêt tout particulier d'un S.I.G en tant qu'outil informatisé dédié à la gestion de l'information géographique dans le suivi et la quantification de l'érosion hydrique. Les SIG sont des outils rapides d'exécution, flexibles et très puissants capables d'intégrer un grand nombre de facteurs et de les présenter sous une forme facilement interprétable (*Zurayket al., 1999, in Biko.M 2012*).

Un Système d'information géographique est, comme son nom l'indique, un outil informatisé dédié à la gestion de l'information géographique. Ce type de système permet d'apporter à chacun l'information dont il a besoin pour décider et agir au mieux. C'est un outil de représentation d'une réalité, de compréhension des phénomènes et des conditions dans lesquelles ils se réalisent, de simulation d'alternatives et de leurs effets. C'est aussi un outil de dialogue et de communication entre disciplines par un constant aller-retour entre observation, interprétation, hypothèse et validation. L'utilisation de ce genre de système offre un moyen simple, rapide et efficace à l'utilisateur, pour les études d'aménagement et de prise de décision (*Mokhtari, 2017*).

L'utilisation des techniques de télédétection associées aux SIG permet l'estimation quantitative de l'érosion ainsi que sa distribution spatiale à des moindres coûts et avec un degré de précision appréciable pour de vastes superficies ; surtout que les décideurs politiques sont beaucoup plus intéressés par la distribution du risque d'érosion que par sa valeur absolue (*Lu et al., 2004, in Bassoglog 2012*). L'estimation quantitative de l'érosion se fait en appliquant des modèles empiriques ponctuels, qui nécessitent comme paramètres d'entrée, des données spatialisées (Pentes, texture du sol, hauteur de pluies, etc.) caractérisant les facteurs de l'érosion hydrique (topographie, érodibilité, l'érosivité, etc.) (*Le Bissonais et al, 2004, in Biko. M 2012*).

Les SIG permettent d'appliquer des modèles ponctuels cellule après cellule sur tout un espace géographiquement étendu (*Lu et al., 2004 ; in Biko.m 2012*). Les données spatialisées de chaque paramètre sont traitées séparément sous forme de couches d'informations et intégrées (superposition des couches) dans le SIG pour en ressortir la carte de distribution du risque d'érosion (*Mutua et al., 2005 ; in Biko.m 2012*).

1.6.9. Modélisation de l'érosion hydrique :

Les phénomènes d'érosion hydrique sont le résultat d'interactions complexes, variables dans le temps et l'espace. Dans une optique d'évaluation des risques de ruissellement et d'érosion, le recours à la modélisation peut constituer un outil approprié (*Mokhtari, 2017*). Une large variété de modèles sont disponibles pour estimer le risque d'érosion des sols. Ces modèles peuvent être classés de nombreuses façons. Il est possible, par exemple, de faire une subdivision basée sur une échelle de temps sur laquelle un modèle peut être utilisé : certains modèles sont conçus pour prédire les pertes annuelles de sol (donc sur le long terme), tandis que d'autres prévoient les pertes pendant un orage (donc événementielles) (*Van der Knijff, 2000*).

Alternativement, une distinction peut être faite entre les modèles qui prédisent un phénomène d'érosion ponctuel et ceux qui s'intéressent à des phénomènes de plus grande amplitude. La différence entre les modèles empiriques et les modèles physiques est aussi intéressante à faire (*Van der Knijff, 2000*). Le choix d'un modèle particulier dépend largement du but recherché et des données et du temps

disponibles. La plupart demande beaucoup de données pour leurs paramètres d'entrée si bien que leur application à l'échelle régionale devient difficile.

➤ L'équation "Universal Soil Loss Equation" (RUSLE):

Vingt ans après la mise en place des essais d'érosion en parcelles dans une bonne dizaine d'Etats d'Amérique du Nord, il existait une accumulation d'un grand nombre de données sur l'érosion dont il convenait de faire la synthèse. En 1958, *Wischmeier*, statisticien du Service de Conservation des Sols fut chargé de l'analyse et de la synthèse de plus de 10.000 mesures annuelles de l'érosion sur parcelles et sur petits bassins versants dans 46 stations de la Grande Plaine américaine. L'objectif de *Wischmeier et Smith (1978 ;1960)* était d'établir un modèle empirique de prévision de l'érosion à l'échelle du champ cultivé pour permettre aux techniciens de la lutte antiérosive de choisir le type d'aménagement nécessaire pour garder l'érosion en-dessous d'une valeur limite tolérable étant donné le climat, la pente et les facteurs de production (*Mokhtari, 2017*).

➤ Analyse des principes du modèle :

Selon ce modèle, l'érosion est une fonction multiplicative de l'action érosive des pluies (le facteur R qui est égal à l'énergie potentielle) que multiplie la résistance du milieu, laquelle comprend K (l'érodibilité du sol), Ls (le facteur topographique), C (le couvert végétal et les pratiques culturales) et P (les pratiques antiérosives). C'est une fonction multiplicative, de telle sorte que si un facteur tend vers zéro, l'érosion tend vers 0. Ce modèle de prévision de l'érosion est constitué d'un ensemble de cinq sous modèles:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Avec ;

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

R : facteur d'agressivité climatique (N/h).

K : facteur de sol (t.ha/N.h).

LS : facteur de pente (adimensionnel).

C : facteur d'occupation de sol (adimensionnel).

P : facteur des aménagements antiérosifs (adimensionnel).

Cette équation a été appliquée dans l'Est de l'Algérie et a montré la gravité du problème de l'érosion et a permis de déterminer les périodes où l'érosion est intense.

Les dégâts graves et intenses causés par l'érosion hydrique au fil des siècles a poussé l'homme par le biais de différentes formules empiriques à quantifier les pertes en sols, ces formules restent toujours à utiliser avec précaution du fait de leur limites d'application (*Benaicha 2011*).

1.7. L'envasement des barrages :

1.7.1. Définition de l'envasement :

L'envasement est défini comme étant le dépôt de sédiments dans les retenues et barrages, réduisant ainsi leurs capacités de stockage.

La construction d'un barrage change les caractéristiques hydrauliques de l'écoulement et la capacité de transport des sédiments (*Chow,1964*), transportée par l'écoulement, la matière solide tend à se déposer à l'approche des plans d'eau, car en réduisant sa vitesse, l'écoulement perd petit à petit sa capacité de transport quand le cour d'eau s'approche et se jette dans le lac du réservoir, les particules grossières se déposent en premier ensuite les plus fines jusqu'à atteindre la digue (figure, 1.4), n'ayant pas où s'échapper le dépôt se tasse et se consolide en réduisant ainsi la capacité de stockage du

réservoir, sachant qu'en moyenne 90% des sédiments transportés par le cours d'eau sont piégés (*Chow, 1964*).



Figure 1.10. Processus d'envasement (*Remini, 2009*)

1.7.2. Problèmes posés par l'envasement :

Dans de nombreux pays du monde, le transport des sédiments dans le réseau hydrographique des bassins versants et leur dépôt dans les retenues pose aux exploitants des barrages des problèmes dont la résolution ne peut qu'être onéreuse. Non seulement la capacité utile est progressivement réduite au fur et à mesure que les sédiments se déposent dans la retenue mais encore l'enlèvement de la vase est une opération délicate et difficile, qui bien souvent exige que la retenue soit hors service, ce qui est pratiquement impossible dans les pays arides et semi-arides. Dans l'un et l'autre cas, il en résulte des dommages considérables à l'environnement et une mise en péril de l'économie du projet (*Remini, 2003*).

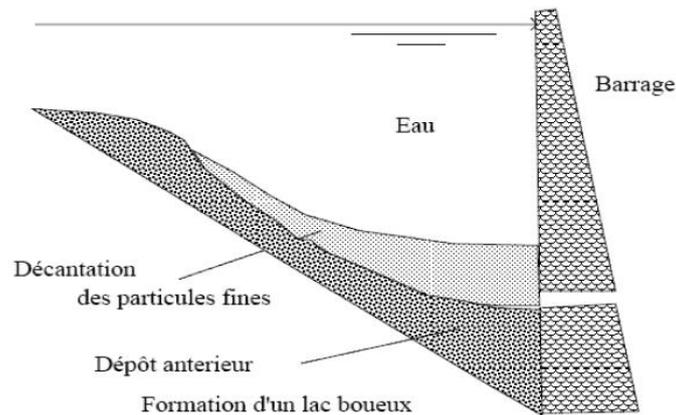


Figure 1.11. Dépôt de vase (*Remini, 2003*)

Le problème d'envasement des barrages n'est pas un problème propre à l'Algérie, beaucoup de pays dans le monde souffre du problème surtout dans les zones arides et semi-arides, où le manque de ressources hydrique est accentué par l'érosion des sols qui peut atteindre les 5000 t/km²/an contre 30 à 50 t/km²/an en Europe (*Abdeli, 2007*).

Le Maghreb est considéré comme le plus touché par le problème d'érosion et d'envasement en Afrique, surtout si on se réfère aux travaux de *Walling (1984)* qui a lancé une fourchette de l'érosion spécifique de 1000 à 5000 t/km²/an. Les trois pays du Maghreb dispose de 230 barrages d'une capacité totale de 23 Milliards de m³ Dont 61% reviennent au Maroc, 23 % à l'Algérie et 16% à la Tunisie (*Remini,2003*), ces barrages enregistre une perte annuelle de capacité de 125 Hm³.

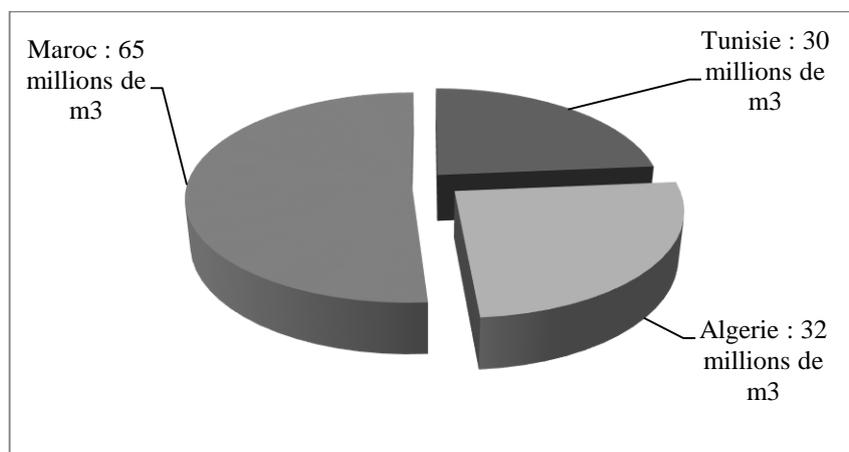


Figure 1.12. Envasement moyen au Maghreb (*Remini, 2003*).

1.8. Conclusion :

L'érosion hydrique résulte de l'interaction du climat (pluie, températures, ...), les propriétés du sol (matière organique, stabilité structurale, capacité d'infiltration,...), le relief (longueur et gradient de pente), les pratiques culturales (travail du sol) et le couvert végétal. La modification spatiale et temporelle de cette interaction peut induire une amplification de l'érosion.

Dans ce chapitre on a abordé les processus de l'érosion hydrique résultant dans les retenues, et qui fait l'objet de beaucoup de recherches qui n'ont point réduit sa complexité vu le nombre des paramètres et leur comportement qui entre en jeu. L'envasement des barrages ne peut être considéré comme un mal inéluctable, mais c'est un phénomène inévitable, qu'il faudrait prendre en compte dans les calculs technico-économiques.

A ce moment on peut conclure que ces caractéristiques géographiques (pente, climat, érodabilité, couvert végétal) présentent des facteurs favorisant l'érosion et qui sont liés à l'exploitation abusive des sols pour l'agriculture, le pâturage, l'exploitation des carrières, et l'urbanisation, ce qui entraîne très souvent des conséquences néfastes se manifestant par la perte des sols.

Après l'identification de l'érosion il faut prouver l'existence phénoménale de cette dernière dans la région concernée pour notre étude et surtout de connaître son degré de sensibilisation c'est pourquoi on doit passer par une analyse cartographique à l'aide de l'équation universelle RUSLE intégrée au SIG (Système d'Information Géographique).

CHPITRE 2

Description de la zone d'étude

2.1. Introduction :

Le bassin versant de l'Oued Chef, été choisi comme bassin d'application de notre travail suite à l'absence des études sur ce derniers malgré la diversité des données disponibles. Leurs unités naturelles seront étudiées d'abord sur le plan physique (morphologie, géologie, hydrographie, couvert végétal....) pour caractériser les principaux facteurs naturels intervenant dans l'écoulement ensuite sur le plan hydro-climatologique pour évaluer le potentiel hydrique du bassin. Ce choix de terrain nous a été dicté suite au caractère bien individualisé du bassin choisi. Le barrage de Foum El Khanga est alimenté par le bassin de l'Oued Cherf et ses sous bassins. Il s'intègre dans le grand système de mobilisation et des transferts des eaux de surface dans les hautes reliefs du Nord - Est algérien. Il dispose d'une bonne base documentaire et des données hydro-pluviométriques comparativement aux autres bassins appartenant au grand bassin Seybouse Constantinois Mellague.

Nous présentons dans ce chapitre les principales caractéristiques du bassin ainsi que les données du milieu physique dont nous disposons.

2.2. Cadre général du terrain d'étude :

Les bassins versants des oueds Cherf objet de notre étude appartient au grand bassin de la Seybouse. Ce dernier situé au Nord-Est du territoire national, entre 06°47'02" et 07°58'47" de longitude Est et entre 35°47'49" et 36°55'43" de latitude Nord (figure 2.1). Selon l'agence de bassin hydrographique, il appartient à l'ensemble Constantinois-Seybouse-Mellegue.

Il est limité par :

- La mer méditerranée au Nord.
- Le bassin versant des côtières constantinois Est au Nord-Est.
- Le bassin versant des côtières constantinois centre au Nord-Ouest.
- Le bassin versant Medjerda au Sud-Est.
- Le bassin versant Kebir Rhumel au Sud-Ouest.
- Le bassin versant des hauts plateaux constantinois au Sud.

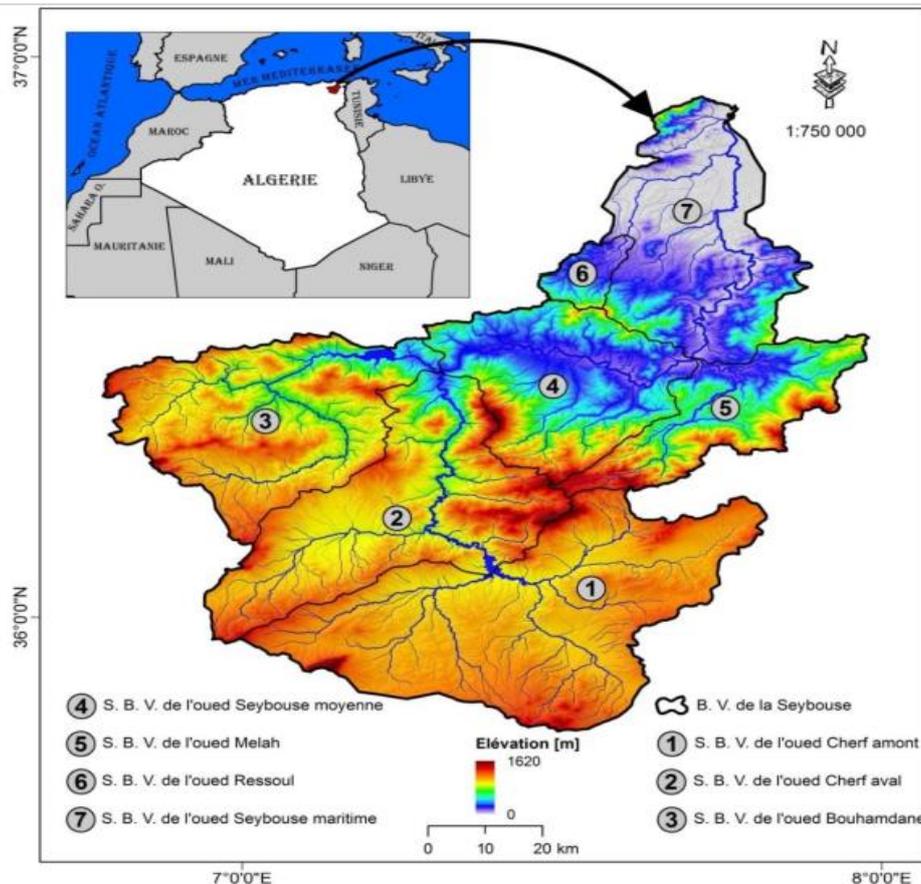


Figure 2.1 : Situation géographique de la zone d'étude. (Bouguerra H. Thèse de doctorat .2018)

2.3. La Situation géographique du bassin d'oued Cherf / Sedrata :

Le bassin d'oued Cherf / Sedrata, porte le code (14.01) selon l'agence des bassins hydrographiques est situé dans la partie Nord -Est du territoire Algérien à l'amont du barrage de Foug El Khanga, Il constitue la région limitrophe de trois wilaya : Souk Ahras ; Guelma et Oum El Bouaghi et regroupe sept daïras. Ce bassin faisant partie du bassin versant de la Seybouse est de forme triangulaire, il s'étale sur une superficie de 1776 km², le bassin est délimité par les versants montagneux, au Nord par : Dj Tiffech, massif de Ras el Alia, Dj Zouabi , au Sud par : Dj Ezzorg, Koudiat Edabdaba, et Dj Lahmar ; à l'Est par : Dj Kebarit, Dj Teraguelet, Dj Ain Zitouna et à l'Ouest par : Dj Sidi Réghiss et Chebkat Sellaoua. (Fig.2.2).

Au Sud-est, Le bassin de la Seybouse contient des Hautes plaines (Haute - Seybouse), et qui touche la vallée de la haute Medjerda et ses nombreux affluents ; celle-ci est limitrophe de la ligne de partage des eaux du Ranem (tributaire de la Seybouse), du Cherf et de la Medjerda à Ras el Alia, où naissent les cours supérieurs de l'oued Krab et Tiffech, qui tous les deux affluents du Cherf.

Au Sud, les Hautes plaines dépendant du Cherf, se soudent avec celles des Chotts salés du Guéllif, du tarf, d'Ank Djemel. Une région peu accidentée, parsemée de petits massifs Montagneux isolés contrastent sa belle monotonie au-dessus des hautes plaines comme le djebel Sidi Rghis (1623m) d'altitude, appartient par son flanc nord au domaine de la Seybouse. (figure.2.2)

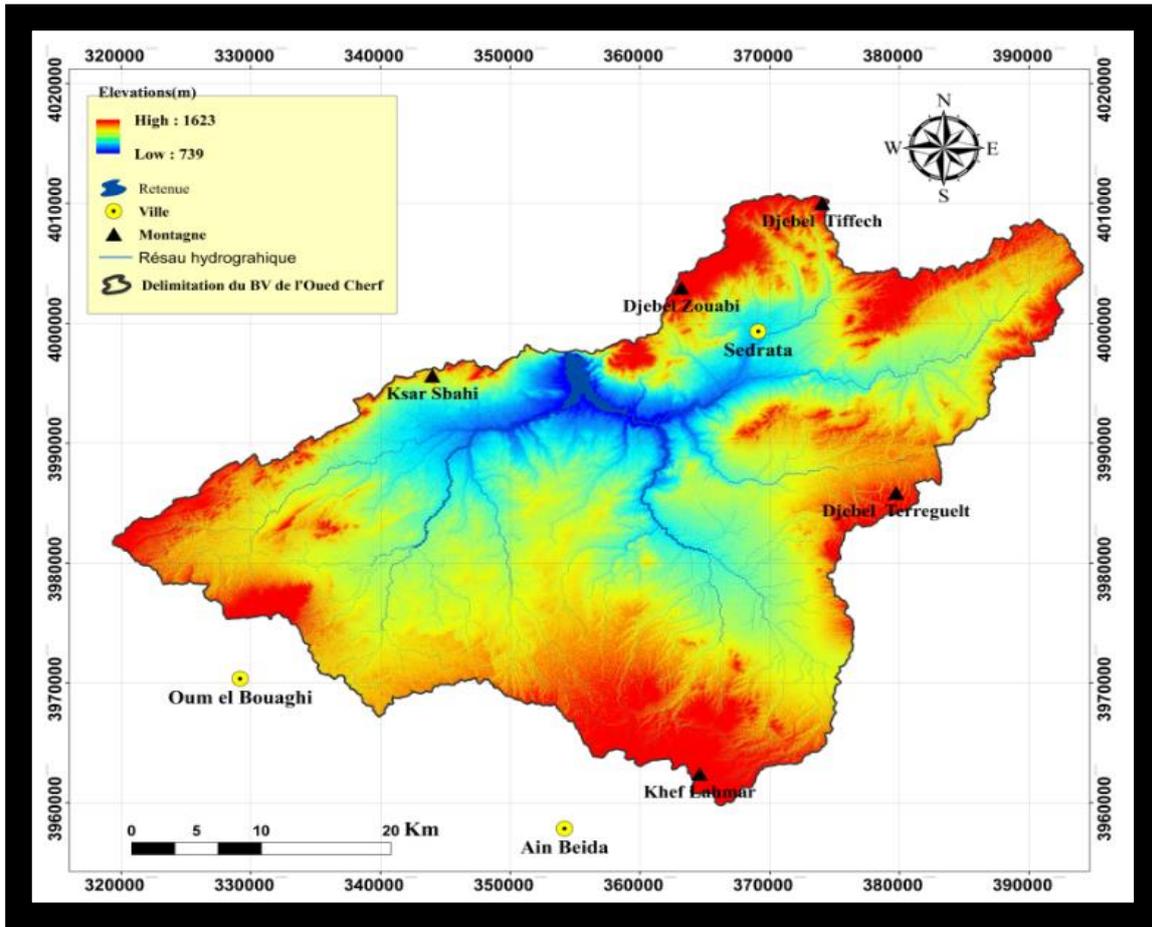


Figure 2.2 : Localisation du bassin versant de d'oued Cherf / Sedrata

2.4. Caractéristique morphométrique du bassin :

Dans le cadre d'une étude générale relative à l'influence des caractères physiques et morphologiques du bassin versant (nature, forme, ...). L'identification de ces caractéristiques morphométrique est nécessaire pour analyser le comportement hydrologique du bassin versant (lamé d'eau précipitée, débit, ...). Leurs variations ont une influence sur le comportement hydrologique du bassin versant et leur analyse permet une meilleure compréhension des causes des variations des régimes hydrologiques et donc le régime hydrographique et dynamique des matériaux.

Il existe un certain nombre de caractéristiques qui pourront compléter l'analyse morphométrique tels que : la densité de drainage, la fréquence des cours d'eau, l'allongement et le profil des cours d'eau.

2.4.1. Forme du bassin :

2.4.1.1. Indice de compacité de Gravelius (Kc) :

La détermination de différents indices de forme pour comparer les bassins versants entre eux et estimer certaines de leurs caractéristiques hydrologiques. Parmi ceux-là, l'indice de Gravelius (Kc) qui caractérise la compacité du bassin versant. Il se définit comme le rapport du périmètre du bassin versant et le périmètre du cercle ayant même superficie que le bassin. Il est donné par la relation suivante :

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

Sachant que :

K_c : Coefficient de compacité de Gravelius.

P : Périmètre du bassin versant [m].

S : Surface du bassin versant [km²] Si.

K_c tend vers 1 : Le bassin est ramassé Si, $K_c > 1$ le bassin est allongé Plus ce coefficient s'approche de 1, plus la forme de bassin versant sera ramassée et plus le temps de concentration des eaux seront court. Elle sera allongée dans le cas contraire.

Bassin versant de	Area(Km ²)	Périmètre(m)	K_G
l'Oued Cherf	1776	262.62	1.76

$K_c > 1$ le ce qui implique qu le bassin de l'oued cherf est de forme allongé

2.4.1.2. Rectangle équivalent :

La notion de rectangle équivalent ou le rectangle Gravelius, permet de comparer l'influence des caractéristiques géométriques sur l'écoulement. La forme des lignes de

$$L = K_G \frac{\sqrt{A}}{1,12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G}\right)^2} \right], \quad l = K_G \frac{\sqrt{A}}{1,12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G}\right)^2} \right]$$

Avec :

- L : longueur du rectangle (Km).

- l : largeur du rectangle (Km).

Bassin versant de	L (km)	l (km)
l'Oued Cherf	25	15.3

2.4.1.3. Caractéristique du relief :

L'influence du relief sur l'écoulement se conçoit aisément, car de nombreux paramètres hydrométéorologiques varient avec l'altitude (précipitations, températures, etc.) et la morphologie du bassin. En outre, la pente influe sur la vitesse d'écoulement. Le relief se détermine par les caractéristiques suivantes :

2.4.1.4. Analyse altimétrique :

La courbe hypsométrique peut être aperçue comme une sorte de profil du bassin. Elle est obtenue en calculant la répartition du bassin versant (en Km² et en % de la surface totale) par tranches d'altitudes. Les valeurs des surfaces comprises entre les différentes courbes de niveau, obtenues par planimétrie de la carte relative au bassin versant, sont reportées sur la carte de l'altimétrie. Cette dernière permet de calculer la masse actuelle du relief qui n'est pas encore consommée par l'érosion. Les paramètres des courbes hypsométriques permettent de déterminer le volume partiel et total au relief. Ces courbes ont été tracées en fonction des superficies cumulées en Pourcentage et leurs altitudes correspondantes. En général, la courbe hypsométrique montre que plus l'altitude augmente plus le pourcentage des superficies diminue du bassin versant.

Elle consiste en une distribution des superficies par rapport aux altitudes du bassin. Elle donne une idée générale sur son potentiel érosif selon *Strahler in Llamas (1993)*. Nous avons utilisé la carte d'altitude du bassin versant de l'Oued Cherf, cette dernière est obtenue suite au traitement effectué à partir de la carte MNT téléchargée gratuitement à partir du site <http://glovis.usgs.gov/> de l'*USGS*. La courbe représente la répartition des fréquences altimétriques avec en abscisse la superficie en % située entre deux courbes de niveau et en ordonnées les altitudes échelonnées par tranches de 200 m.

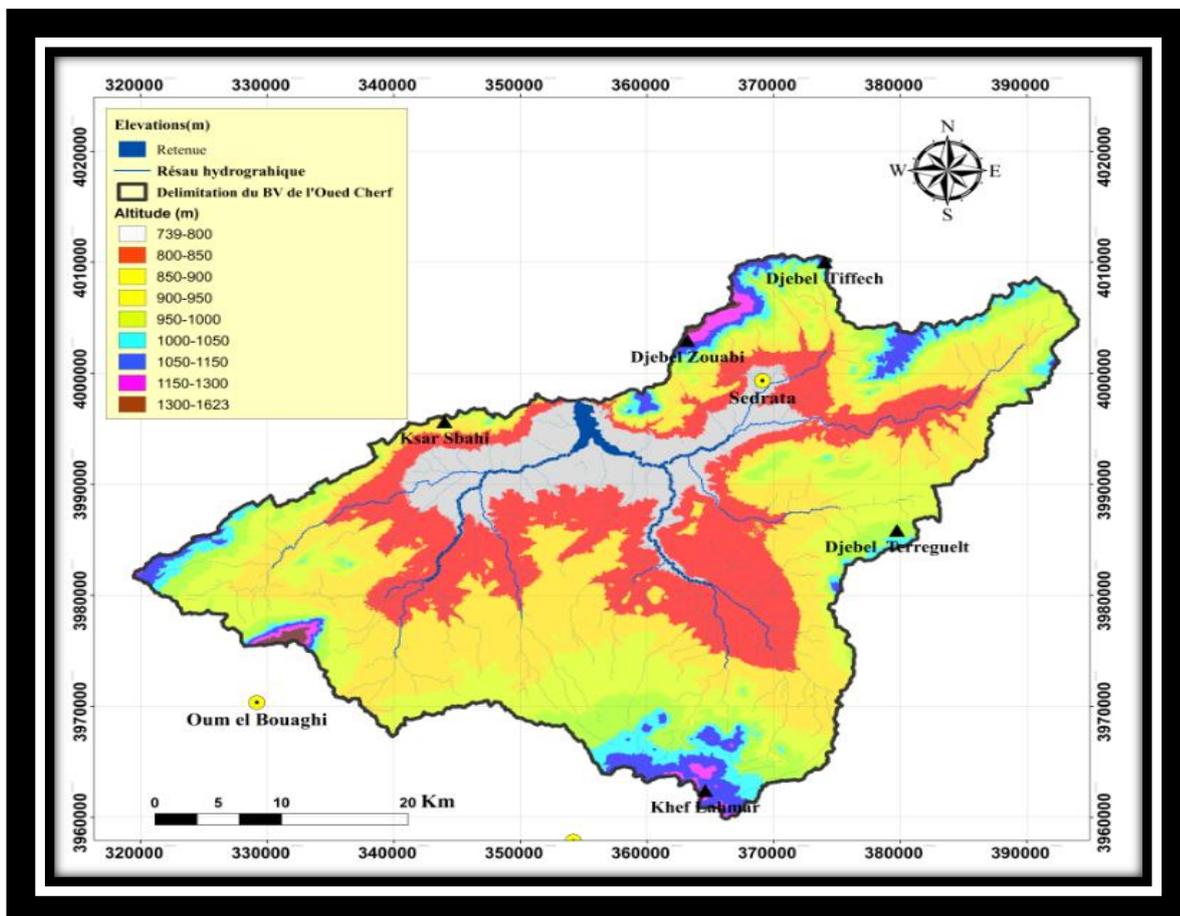


Figure 2.3 : Carte d'altitude du bassin versant

Tableau 2.1. Répartition de surface en fonction de l'altitude du bassin versant

Altitude(m)	Surface (km ²)	Surface %	Surface cumulée (km ²)	Surface cumulée %
1300-1623	4,95	0,28	4,95	0,28
1150-1300	16,55	0,93	21,50	1,21
1050-1150	60,34	3,40	81,84	4,61
1000-1050	76,63	4,31	158,47	8,92
950-1000	152,95	8,61	311,42	17,53
900-950	350,91	19,75	662,33	37,28
850-900	506,75	28,52	1169,08	65,80
800-850	415,85	23,41	1584,93	89,21
>800	191,69	10,79	1776,62	100,00
	1776,62	100,00		

2.4.1.5. Interprétation de l'aspect des courbes hypsométriques :

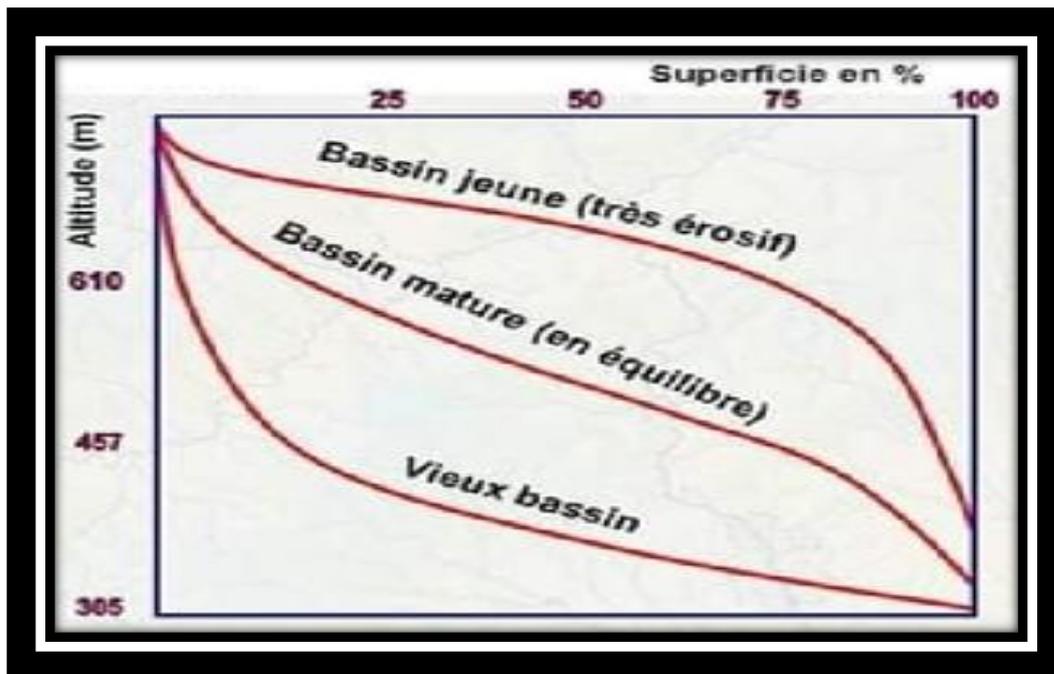


Figure 2.4 : Interprétation de l'aspect des courbes hypsométriques

La courbe hypsométrique représentée sur la Figure montre une allure plus concave dans le bassin de l'Oued cherrf, ce qui se traduit par un relief bas pour le bassin et un développement de la plaine douce près du cours d'eau où l'altitude varie très peu malgré que la superficie est importante, cette courbe prend une forme convexe au niveau des zones d'épandages où s'étalent les alluvions des cours d'eau. La concavité de la courbe hypsométrique montre que le bassin présente un état de vieillissement (bassin vieux).

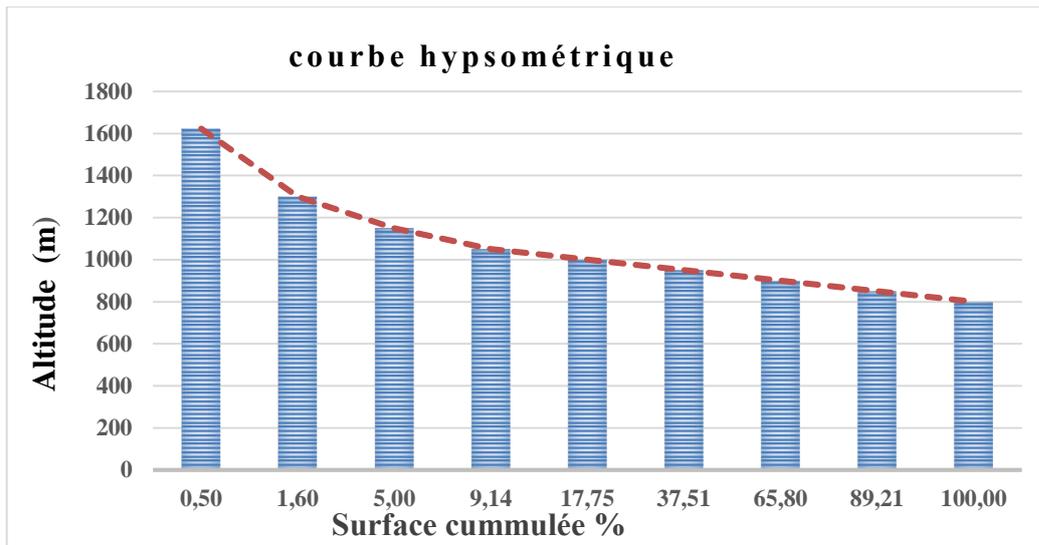


Figure 2.5 : Courbe hypsométrique du bassin versant d'oued Cherf

Cette courbe (figure.2.5) offre une vue d'ensemble de la pente et l'état allant vers l'équilibre du bassin versant de l'oued cherf avec un potentiel érosif important. Elle donne à l'aide du modèle numérique du terrain (M.N.T) un aperçu quant à la répartition des altitudes dans le bassin et confirme par ailleurs les informations données par la courbe hypsométrique. A partir de la courbe hypsométrique, on peut déterminer les altitudes caractéristiques du bassin versant suivantes :

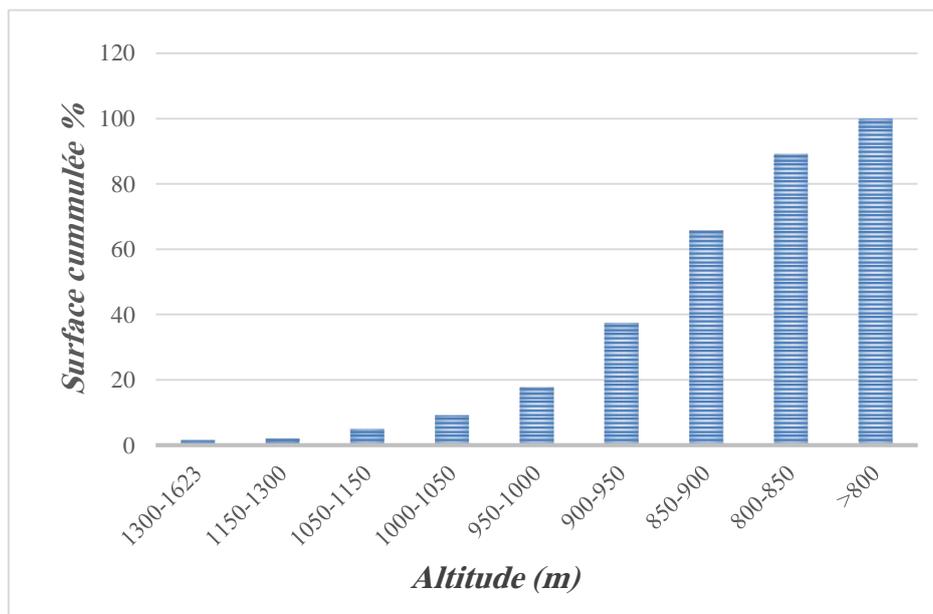


Figure 2.6. Histogramme de fréquences altimétriques du bassin versant de l'oued cherf

Avec :

- Altitude minimale : égale au point le plus bas du bassin versant.
- Altitude médiane ($H_{médiane} = H_{50\%}$): correspond à l'altitude lue au point d'abscisse 50% de la surface totale du bassin, sur la courbe hypsométrique.
- Altitude moyenne : se déduit directement de la courbe hypsométrique. On peut la définir comme suit :
 $H_{moy} = \frac{\sum H_i A_i}{A}$

Avec :

- H_{moy} : altitude moyenne du bassin en [m] ;
- A_i : aire comprise entre deux courbes de niveau [Km²] ;
- H_i : altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;
- A : superficie totale du bassin versant [Km²].

Tableau 2.2. Altitudes caractéristiques du bassin

Altitudes Caractéristiques (m)	
Altitude minimale	739
Altitude maximale	1623
Altitude moyenne	1069
Altitude H5%	1150
Altitude H50%	927,9
Altitude H95%	826,8

2.4.1.6. L'intégrale hypsométrique :

L'intégrale hypsométrique est donc définie à partir de la formule de Pike et Wilson (1971) :

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

H_{moy} : Sont respectivement l'altitude moyenne, l'altitude maximale et l'altitude minimale.

Ce coefficient reflète l'énergie d'une morphométrie favorable ou défavorable à l'érosion, Il est donc un indicateur de l'intensité des processus de l'érosion.

D'après le résultat ($HI=37.33\%$) pour le bassin de l'Oued cherf, le bassin est dans un stade de mi- maturité, où 62.67% du volume montagneux a été consommée par l'érosion.

2.4.2. Coefficient orographique :

Ce coefficient reflète l'énergie d'une morphométrie favorable ou défavorable à l'érosion. Il est donc un indicateur de l'intensité des processus de l'érosion opérant sur les versants dont il mesure la raideur générale du bassin. Ce coefficient est vraisemblablement analogue au ratio du relief proposé par Melton (1957). Ce coefficient exprime le rapport de la différence entre l'altitude moyenne et minimale à la superficie totale du bassin de la façon suivante :

$$CO = H_{moy} \cdot tg \alpha \quad \text{Et} \quad tg \alpha = \frac{H_{moy} - H_{min}}{A}$$

Avec :

- CO : coefficient orographique.
- H_{moy} : Altitude moyenne (m).
- H_{min} : Altitude minimale (m).
- A : Surface du bassin (Km²).
- Lorsque $CO > 6$ m le relief est accentué.
- Lorsque $CO < 6$ m le relief n'est pas accentué.

Les valeurs du coefficient orographique $CO = 198.56$ m \Leftrightarrow $CO > 6$ m pour le bassin indique t une énergie élevée, aussi bien importante et d'une morphométrie favorable à l'érosion.

2.4.2.1. Indice de pente :

Selon Dubreuil (1974), le but de ces indices est de caractériser les pentes de chaque bassin versant, car il commande en grande partie l'aptitude au ruissellement des terrains. Son appréhension permet de faire des comparaisons et des classifications entre bassins. On a dressé la carte des pentes à partir du modèle numérique de terrain (MNT) de la région et qui sont déterminés à partir de la connaissance des courbes hypsométriques (fig.2.7). En tenant compte de l'effet de la pente, des études (*PNUE/PAM/PAP, 2000 ; Mollenhauer, 1980*) ont montré que l'érosion devient active sur des pentes supérieures à 3 %.

Les classes de pentes utilisées dans notre travail sont indiquées dans le tableau 2.3:

Tableau 2.3. Classe des pentes et superficies correspondantes.

Pente	Classe (%)	Superficie en (Km)	Superficie en (%)
Faible	0-3	948,78	53,42
Modérée	3-7	532,25	29,97
Assez forte	7-10	128,34	7,20
Forte	>10	166,67	9,38

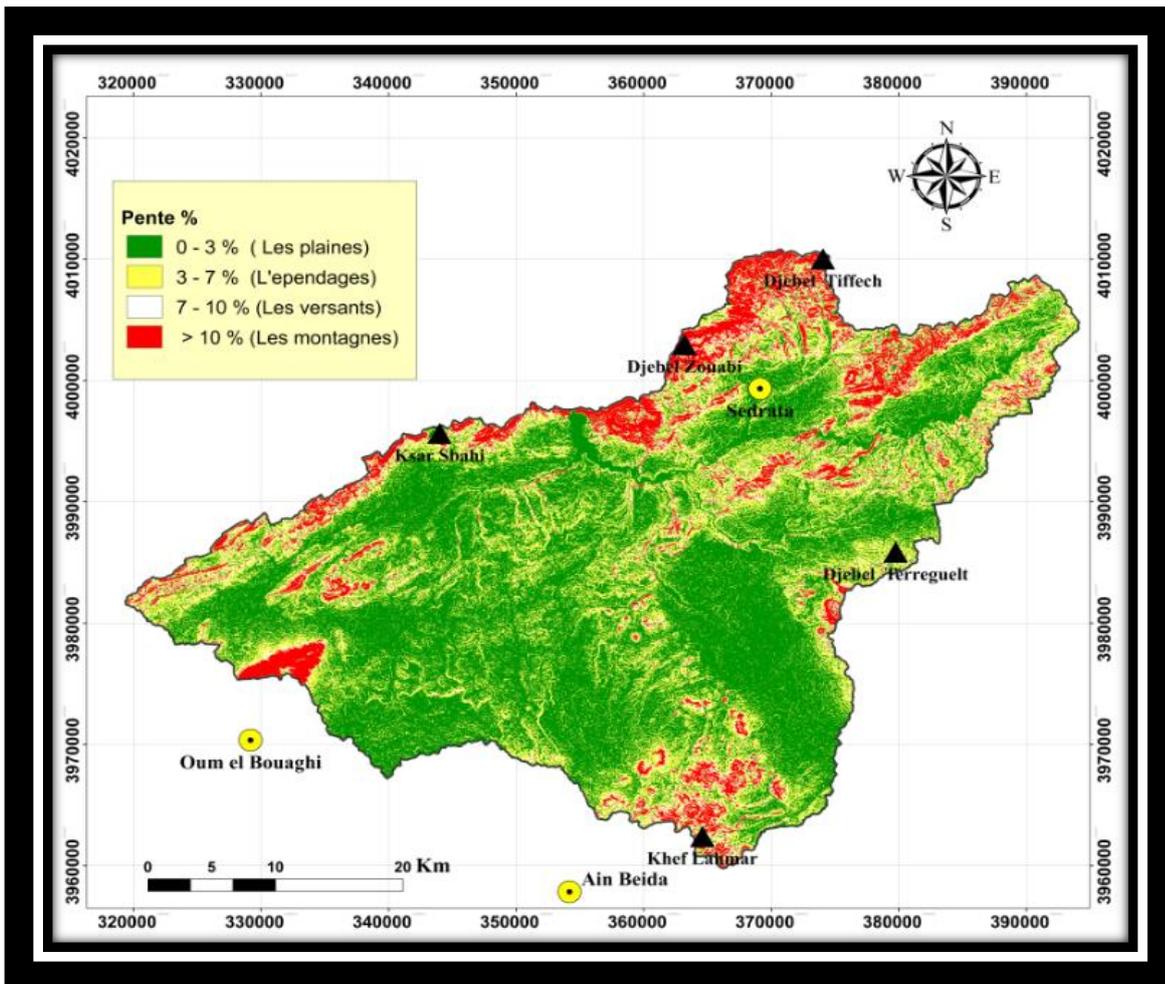


Figure 2.7. Carte des pentes du bassin versant de l'oued cherf

2.4.2.2. Indice de pente de Roche (I_p) :

L'indice de pente de Roche I_p est déterminé à partir du rectangle équivalent par la relation suivante :

$$I_p = 1/\sqrt{L} \sum_{i=1}^n X_i \sqrt{B_i(a_i - a_{i-1})}$$

L : longueur du rectangle équivalent [Km].

X_i : distance séparant deux courbes de niveau sur le rectangle équivalent.

B_i : fraction de la surface totale du bassin comprise entre les côtes a_i et a_{i-1} ; fonction donnée par le tableau hypsométrique.

$(a_i - a_{i-1})$: dénivelé entre deux courbes voisines [m].

$I_p = 0.16$

2.4.2.3. Indice de pente globale (I_g) :

L'indice de pente globale est calculé pour indiquer la nature du relief en se référant à la classification de l'ORSTOM (tableau 2.4). Cet indice s'exprime par l'équation suivant :

$$I_g = DL$$

D : dénivelée (m) ou bien l'intervalle qui sépare les altitudes à 5% et 95% de la surface cumulée donnée à partir de la courbe hypsométrique.

$$D = H_{5\%} - H_{95\%}$$

L : longueur du rectangle équivalent.

La valeur trouvée de $I_g = 0.10$ présente suivant la classification de l'ORSTOM.

Le bassin versant d'oued cherf a un relief fort.

Tableau 2.4. Classification du relief selon I_g par l'ORSTOM

la nature de relief	Valeur de I_g
Relief très faible	$I_g < 0.002 \text{ m/km}$
Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
Relief fort	$0.05 < I_g < 0.5$
Relief très fort	$0.5 \text{ m/km} < I_g$

2.4.2.4. Dénivelée spécifique (D_s) :

Vu que l'indice de pente globale I_g diminue lorsque la longueur du rectangle équivalent L augmente, ou quand la surface du bassin versant augmente ; il sera donc difficile de comparer de bassins versants de taille différente. La dénivelé spécifique D_s (ou coefficient de rugosité), proposé par Melton (1965), donne la possibilité de comparaison entre différents bassins (tableau 2.5). Il s'exprime comme suit :

$$D_s = I_g \sqrt{A} = D \sqrt{\frac{l}{L}}$$

Sachant que ;

I_g : indice de pente globale [m/Km]

A : Aire du bassin [Km²]

D : dénivelée [m]

l : Largeur du rectangle équivalent [Km]

L : Longueur du rectangle équivalent [Km]

$D_s = 320 \text{ m}$

Elle sert aussi à classer le relief, d'après la classification de l'ORSTOM., la dénivelée spécifique du bassin versant d'oued cherf est rangée dans la classe de relief fort.

Tableau 2.5. Classification du relief selon Ds (ORSTOM.)

Ds < 10 m	Relief très faible
10 m < Ds < 25 m	Relief faible
25 m < Ds < 50 m	Relief assez faible
50 m < Ds < 100 m	Relief modéré
100 m < Ds < 250 m	Relief assez fort
250 m < Ds < 500 m	Relief fort
Ds > 500 m	Relief très fort

Les valeurs de Ds (Table 2.5), traduisent bien l'importance du volume montagneux et la forte incision du relief.

2.4.2.5. Indice de pente moyenne (Im) :

Il est donné par la formule suivante :

$$i_m = \frac{D.L}{A}$$

Où : im : pente moyenne [m/km]. L : longueur du cours d'eau principal [km]. D : équidistance entre deux courbes de niveau [m]. A : surface du bassin versant [km²]. Im = 19.73%.

Cet indice met en évidence les pentes élevées du bassin.

Tableau 2.6. Indices de pentes et de relief du bassin versant d'oued cherf

Bassin	IP	Ig	Im	Relief selon Ig	Ds	Relief selon Ds
BV Oued cherf	0.2	0.11	0.19	fort	320	fort

2.4.3. Caractéristiques hydrographiques :

Le réseau hydrographique du bassin versant de oued cherf est composé de l'Oued principal (Oued cherf) qui draine deux affluents importants Oued Bouhadjar rive droite et Oued Kebir rive gauche (fig.2.8), il s'écoule du Sud vers le Nord et alimente l'un des plus grands barrages de la région, le barrage de Foug El Khanga qui est d'une capacité de 165 hm³. La longueur de son cours d'eau principal est de 23 km.

Plusieurs oueds drainent aujourd'hui ces grands espaces. A l'Est, l'oued Tiffech qui suit l'axe de la plaine synclinale du même nom. Le synclinal qui forme la plaine de Khamissa est traversé par l'oued

Crab grossi de l'oued Behezz, de l'oued Ain Sfa et de l'oued Es Souk vers lesquels s'écoulent les eaux provenant du versant Sud de la chaîne Atlasique. L'oued Crab qui se jette dans l'oued Tiffech qui devient l'oued Hamimine en aval, ce dernier et l'oued Crab, se réunissent au Sud –Ouest de Sedrata et donnent l'oued Cherf qui passe au pied du Dj Zouabi, vient ensuite l'oued Ain Snob qui prend sa source dans le chott El Magéne et le Dj Teraguelet aux points les plus éloignés du grand bassin de la Seybouse. L'oued Settara formé de l'oued de Ain Babouche et de l'oued El Mebdoua ; ces affluents sont alimentés par les petits cours d'eau qui descendent du Dj Sidi Reghiss au Nord de Oum El Bouaghi et du flanc Est de la chaîne de Chebkat Sellaoua (Fig.2.8).

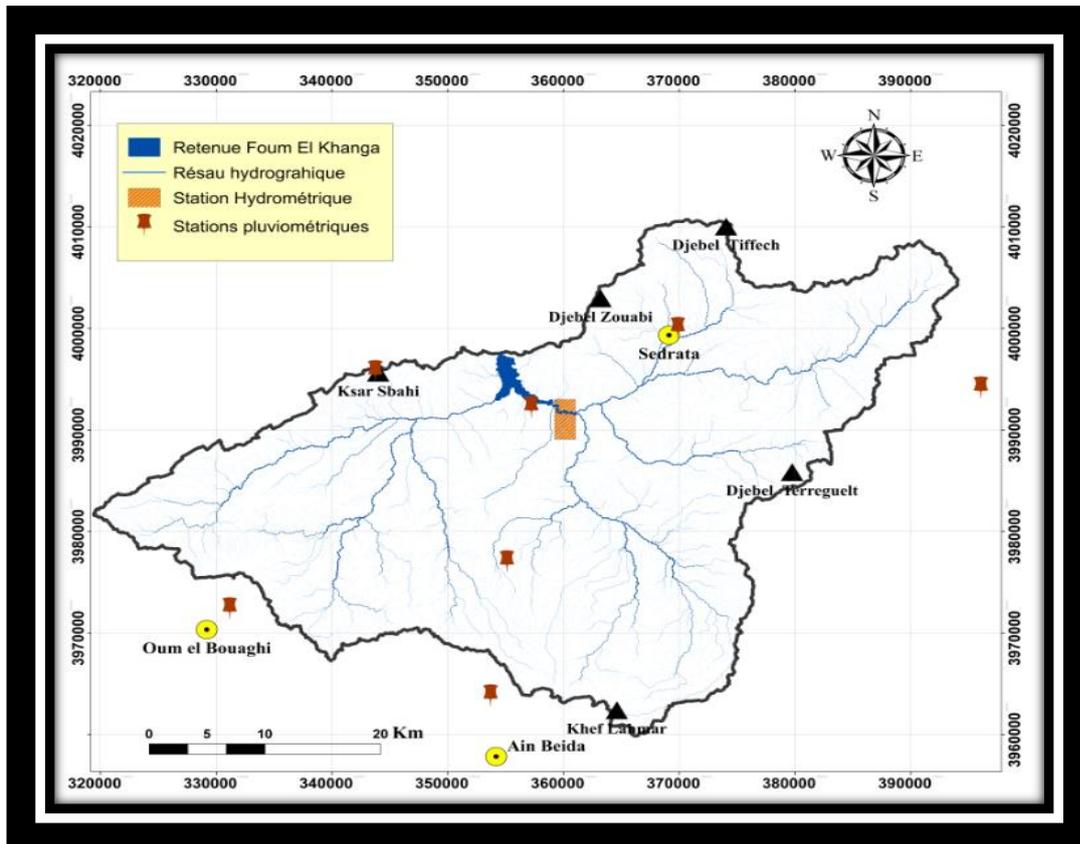


Figure 2.8. Réseau hydrographique de la zone d'étude.

Les paramètres importants qui régissent le régime hydrologique d'un cours d'eau sont : le rapport de confluence (R_c), le rapport des longueurs (R_l) et la densité de drainage (D_d).

2.4.3.1. Rapport de confluence (R_c) :

Il est défini par :

$$R_c = \frac{N_i}{N_{i+1}}$$

Sachant que, R_c : rapport de confluence. N_i : nombre de cours d'eau d'ordre (i). N_{i+1} : nombre de cours d'eau d'ordre supérieur (i+1). $R_c = 3.581$

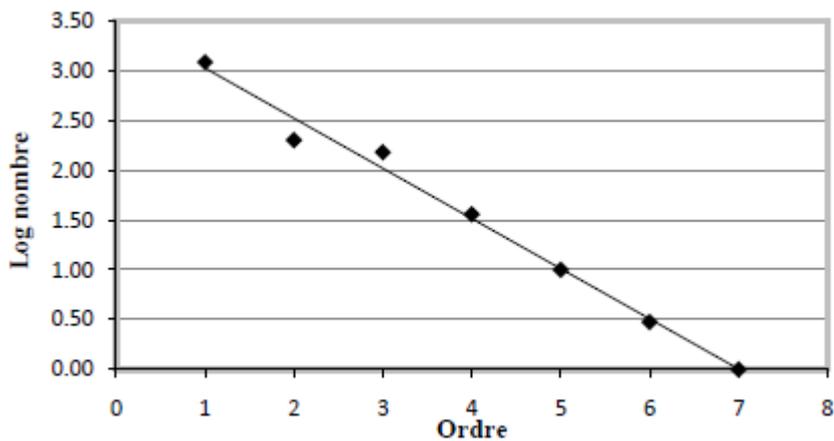
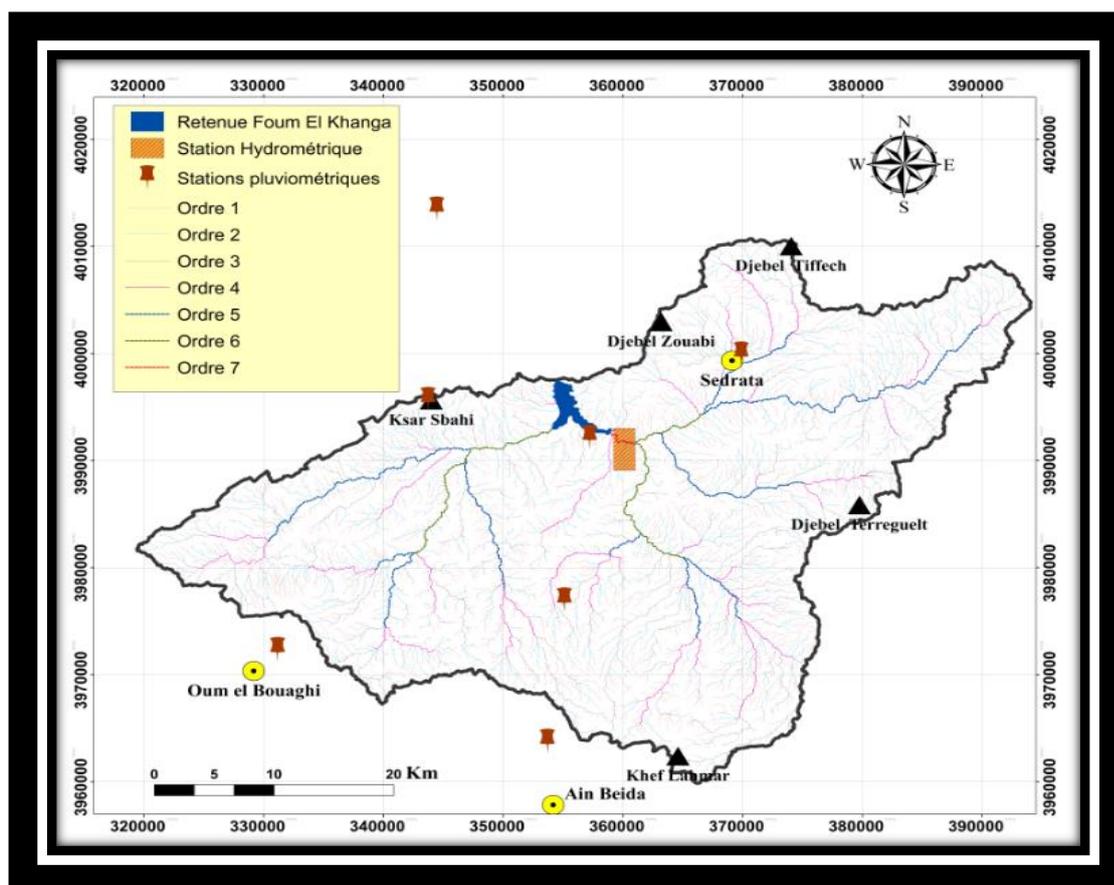


Figure 2.9. Droite représentative du nombre de cours d'eau en fonction de l'ordre



La figure 2.10. Montre que le réseau hydrographique est bien organisé, les nombres de cours d'eau d'ordre consécutif croissant composent une série géométrique inverse.

2.4.3.2. Rapport des longueurs (RL) :

La définition est la suivante :

$$R_L = \frac{L_{i+1}}{L_i}$$

L_i : longueur de cours d'eau d'ordre n .

L_{i+1} : longueur de cours d'eau d'ordre $i+1$.

$RL = 2.94$

2.4.3.3. La densité de drainage (Dd) :

La densité de drainage est le rapport de la longueur totale des thalwegs sur la surface du bassin versant. Elle reflète la dynamique et le degré de drainage du bassin.

$$D_d = \frac{\sum L_i}{A}$$

Où, D_d : densité de drainage en [km/ km²]. L : longueur cumulée de tous les cours d'eau du bassin [km]. A : superficie du bassin [km²]. $D_d = 3,16$ km/km², bassin bien drainé

2.4.3.4. Coefficient de torrentialité :

Ce rapport s'exprime par :

$$C_t = D_d \cdot \frac{N_1}{A}$$

C_t : coefficient de torrentialité.

D_d : densité de drainage en km/km².

N_1 : nombre de cour d'eau d'ordre 1.

A : surface du bassin versant en km².

$C_t = 16.51$: fréquence appréciable des thalwegs d'ordre 1.

2.4.3.5. Temps de concentration :

Le temps de concentration des eaux sur un bassin versant s'exprime comme le maximum de durée nécessaire à une goutte d'eau pour parcourir le chemin hydrologique entre un point du bassin et l'exutoire de ce dernier déterminé par la relation de GIANDOTTI.

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 L}{0.8\sqrt{(H_{moy} - H_{min})}}$$

Où T_c : temps de concentration [heures]. A : superficie du bassin [km^2]. L : longueur de cours principal [km] H_{moy} : altitude moyenne [m] H_{min} : altitude minimale [m] $T_c = 6.95 H$.

Tableau 2.7. Paramètres morphométrique du bassin versant d'oued cherf

Paramètre physique	Symboles	Unité	Valeur
Superficie	S	km^2	1776
Périmètre	P	km^2	262.62
Indice de compacité de gravelius	Kc	/	2.06
Longueur du rectangle équivalent	Lr	m	80.21
Largeur du rectangle équivalent	Ir	m	7.17
Altitude minimale	Hmin	m	153
Altitude maximale	Hmax	m	1405
Altitude moyenne	Hmoy	m	702.5
Indice de pente de roche	Ip	%	0.16
Indice de pente global	Ig	%	0.02
Dénivelée spécifique	Ds	m	295
Indice de pente moyenne	Im	%	19.73
Rapport de confluence	Rc	%	3.58
Rapport des longueurs	Rl	/	2.94
Densité de drainage	Dd	km/km^2	3.16
Coefficient de torrentialité	Ct	/	16.51
Temps de concentration des eaux	Tc	H	6.95

Dans le tableau 2.7, nous consignons l'ensemble des paramètres morphométrique du bassin d'oued cherf.

2.5. Sols et végétation :

La végétation est un facteur primordial de la protection contre l'érosion. L'activité végétative et le type de sol sont intimement liés et leurs actions combinées influencent singulièrement l'écoulement en surface. Le couvert végétal retient, selon sa densité, sa nature et l'importance des précipitations, une proportion variable de l'eau atmosphérique. Cette eau d'interception est en partie soustraite à l'écoulement (Bouanai, 2004). L'occupation des sols est en rapport direct avec les activités anthropiques. La carte d'occupation du sol (fig.2.11) a été établie à partir de l'image satellitaire Landsat-8 acquise en 01-01-2020, qui a été traitée, classée et validée à partir des données issues de travaux réalisés sur la Wilaya sédrata, ainsi que des visites sur le terrain.

On peut distinguer six grands types d'occupation de sol dans la zone d'étude :

- Le couvert végétal du bassin de Oued Cherf est caractérisé par une diversité de végétation naturelle, plus de la moitié du bassin (52%) est occupée par des végétations forestières qui sont constituées principalement de Chêne Liège et de Chêne Zéen, localisés essentiellement dans la partie haute et moyenne du bassin versant.

- Une superficie représentant 14.37 % de la superficie totale du bassin versant est occupée par des terrains de parcours.

Tableau 2.8. Occupation des sols du bassin versant.

Type d'occupation du sol	Surface en (%)	Surface en (Km ²)
Plan d'eau (retenue)	1.5	26.64
Cultures	55.5	980.68
Forêt dégradée	28	497.28
Forêt dense	15.5	272.28

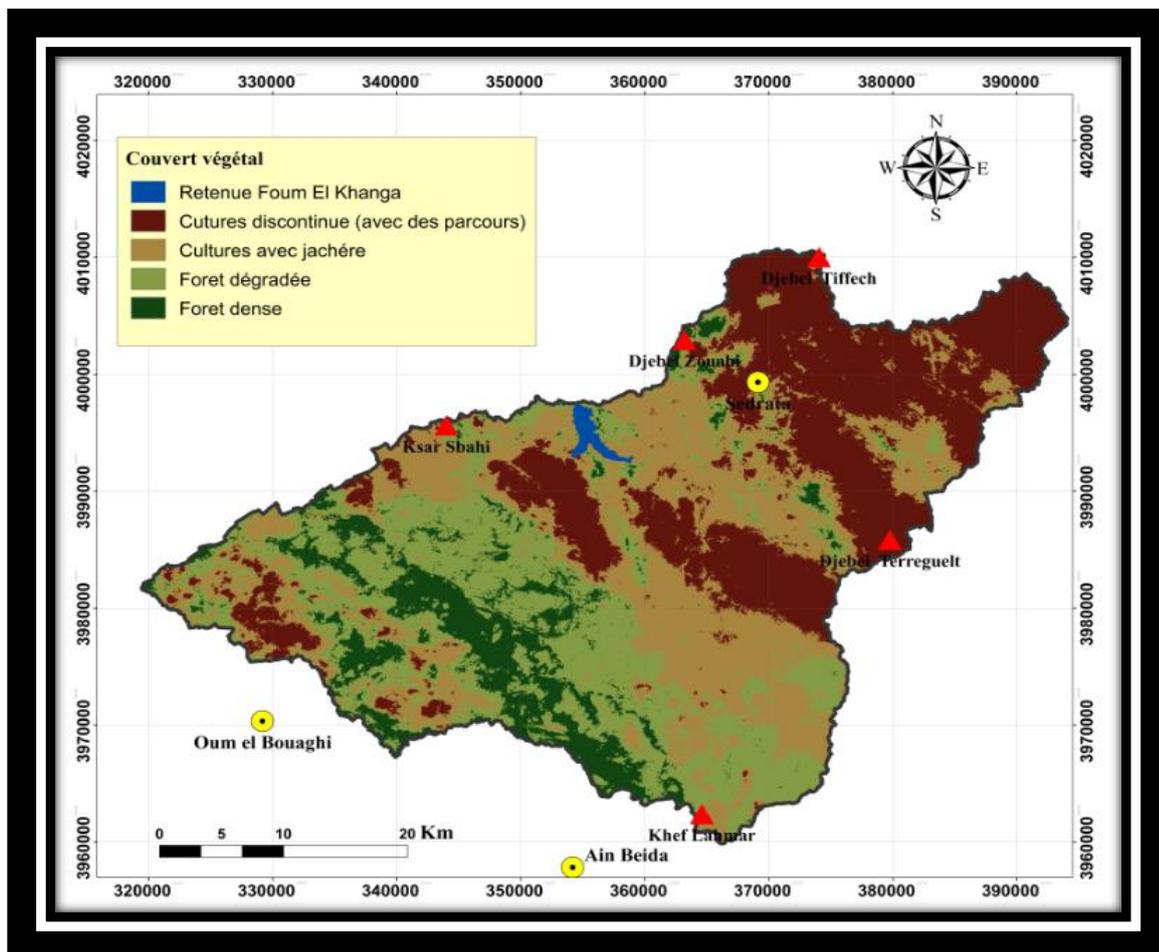


Figure 2.11. Occupation du sol du BV d'oued cherf

Pour le bassin de l'oued Cherf, situé en totalité dans le domaine des Hautes Plaines, la répartition des taux de couverture est la suivante :

- **Retenue** : 1.5%

- **surface offrant une couverture moyenne (céréales-jachère) :** La zone des Hautes Plaines est le domaine de la céréaliculture associée à l'élevage. Les cultures annuelles, dominées par les céréales, représentent 55 % de la superficie totale du bassin versant et se trouvent concentrées à l'extrême limite du bassin, et éparpillées au niveau central ou dans les zones à moyennes et faibles pentes du bassin versant.

- **surfaces offrant une faible couverture (forêt dégradé) :** 28%

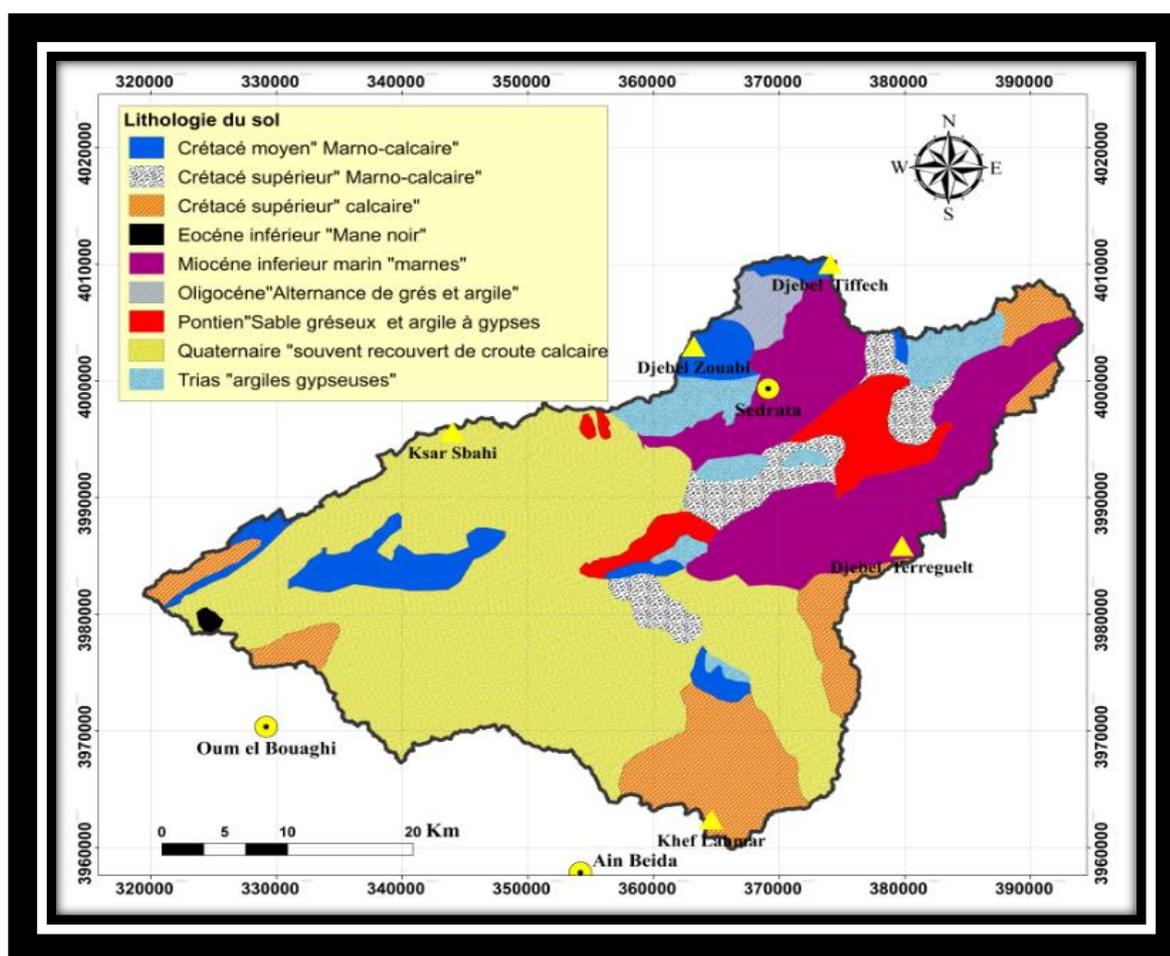
Les maquis représentent 19 % du total et indiquent un stade relativement important de dégradation de la forêt qui augmente d'une année à l'autre et qui était autrefois un potentiel forestier très important pour le bassin. Le reste, soit 9 %, est représenté par des terres nues et des agglomérations.

- **surfaces offrant une très faible couverture (forêt dense) :** 15.5%

Occupée par des végétations forestières qui sont constituées principalement de Chêne Liège et de Chêne Zéen, localisés essentiellement dans la partie haute et moyenne du bassin versant.

Globalement, la zone tellienne est le domaine de la forêt de chêne vert et de chêne

Liège, plante calcifuge qu'on trouve sur les sommets gréseux alors que le domaine atlasique, Est celui du domaine de pin d'Alep et de genévriers rouges.



Figur 2.12. Formation lithologique du bassin versant d'Oued Cherf

Le bassin du Haut Cherf est dominé par des formations quaternaires caractérisant les hautes plaines qui sont constituées d'argile gypseuses, de sable et des terrains cailloutis. Les alluvions peu épaisses et discontinues sont souvent recouvertes d'une croûte calcaire imperméable. Entre le Djebel Tellez et Djebel Tiffech, s'étend la plaine de Tiffech, constituée par des formations argilo-sableuses (Ladlani, 2007).

Les formations d'âge Crétacé, (marnes grises, marno-calcaires et marnes noirâtres) affleurent

essentiellement au niveau des reliefs des régions de Sedrata et Ain Babouche, à Djebels Tiffech, Zellez, et Taguilaline, et constituées la bordure sud-ouest du bassin. Les calcaires susceptibles d'emmagasiner des réserves d'eau, s'ils sont suffisamment fracturés, affleurent surtout à Djebels Amama et Taraguelte dans le sud-ouest du bassin (Ghachi, 1985).

Au nord, on rencontre surtout les formations du Mio-pliocène à dominance marneuse (Burdigalien), avec des sables gréseux, et d'argile à gypse (Pontien). Les marnes gypsosales attribués au Trias affleurent dans les monts de Zouabi, Djebel Tiffech, et Taguilaline. La formation numidienne d'âge Oligocène qui affleure dans le nord, est constituée d'une alternance d'assises gréseuses et de séries argileuse ou argilo-gréseuse.

2.6. Pédologie du bassin :

Comme l'illustre la carte pédologique (fig.2.10), la répartition des sols varie en fonction du domaine morphologique :

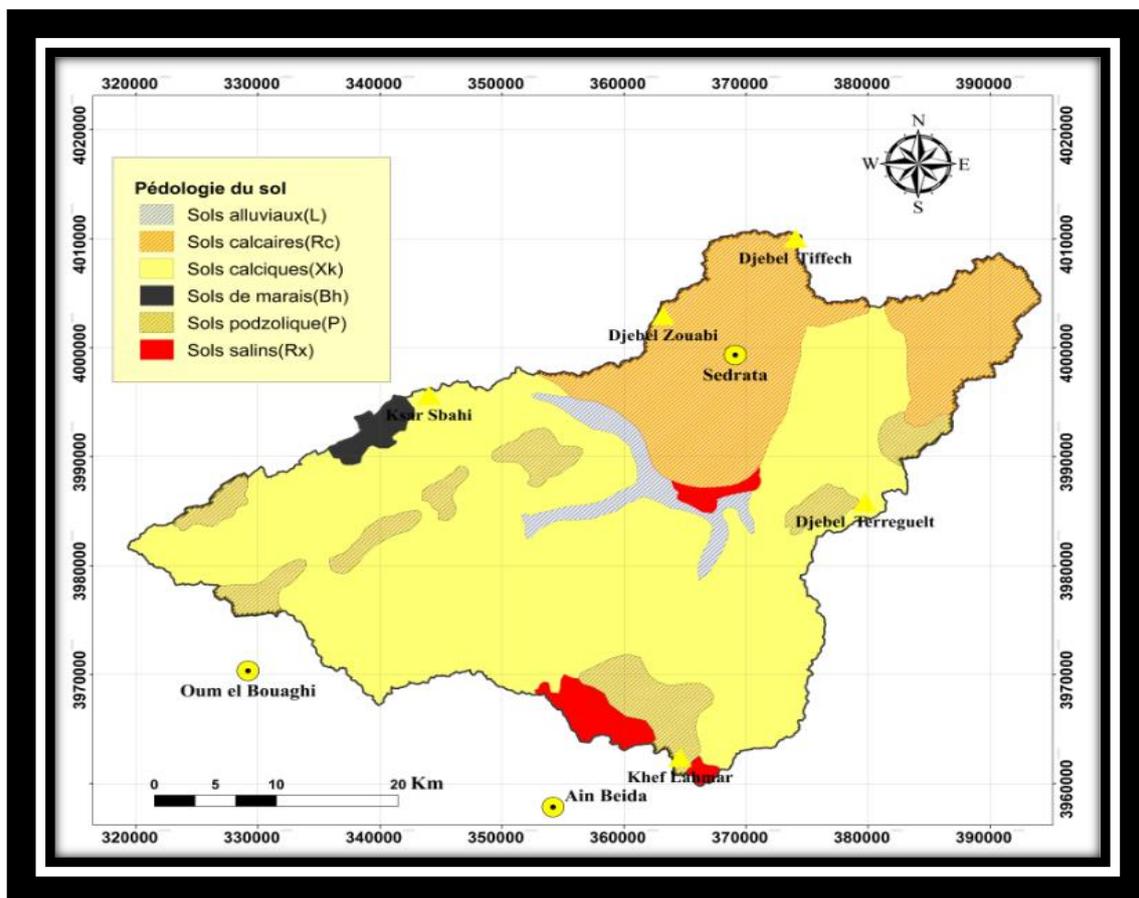


Figure 2.13. Sol du bassin d'oued chérf. Réalisée à partir de la carte du sol de l'Algérie coté Constantinois (Durand, Barbut en 1948)

Comme l'illustre la carte pédologique (fig.2.13), la répartition des sols varie en fonction du domaine morphologique : Les sols les plus répandus dans le bassin versant d'oued chérf,

❖ **Sol podzolique** particulièrement au nord-Est et au Sud et surtout au sud-ouest sont les sols podzoliques, développés sur les terrains montagneux et forestiers presque tout le long de la limite du bassin. Cinq classes de sols ont été distinguées :

À vocation forestière de chêne liège sur les reliefs dont l'altitude est comprise dépasse 1000 m.

❖ **Sol calcaire** ne présentant qu'un seul horizon différencié riche en calcaire, de texture légère, perméable, formé de cailloutis, sables et limons.

❖ **Sols alluviaux** qui sont des dépôts alluviaux quaternaires continentaux avec des niveaux du centre du bassin, mais la présence de niveaux argileux permet le développement de marécages, constitués en terrasses et regs, leur végétation est toujours herbacée.

❖ **Sols marais :**

La cause principale de la sur salinité des eaux du bassin d'oued Cherf est la dissolution du Trias à la suite des précipitations car ces formations sont exposées directement aux pluies et attaquées aussi en profondeur par les eaux souterraines.

❖ **Sols calcique :**

Caractérisé par un faciès calcique cela est sûrement dû à l'existence des lentilles évaporitiques, occupe presque la totalité du bassin localisé au sud-ouest du bassin.

❖ **Sols calcaire :** ses origines sont comparables à celle du calcium, car provient de la dissolution des formations carbonatées à fortes teneurs en magnésium localisés au nord du bassin.

2.7. Étude Hydroclimatologie :

L'étude hydro climatologique d'un bassin versant tient une place primordiale dans la connaissance des comportements des systèmes hydrauliques, parce qu'elle permet d'établir un bilan hydrique et implique la connaissance des paramètres suivants : les précipitations, l'évaporation, l'infiltration et le ruissellement qui conditionnent le bilan. Ont été déterminées quelques informations concernant les caractéristiques climatiques de la zone d'étude.

2.7.1. Stations de mesure

Les coordonnées géographiques et les altitudes de ces stations ainsi que leurs codes sont consignés dans le tableau (2.9).

Tableau 2.9. Coordonnées géographiques des stations et périodes d'observation

Nom Station	CODE	Cordonnée X	Cordonnée Y	Elévation	Période d'observation
SEDRATA	14.01.01	7°33'7"E	36°24'3"N	800	1985-2004
AIN BEIDA	07.07.07	7°23'3"E	35°48'49"N	890	1985-2005
OUM EL BOUAGHI	07.07.16	7°08'7"E	35°52'22"N	1160	1985-2006
KSAR SBAHI	14.01.04	7°15'55"E	36°06'02"N	1430	1985-2007
AIN SETTARA	14.01.05	7°24'36"E	36°3'59"N	745	1985-2008
AIN MAKLOUF	12.01.05	7°16'10"E	36°16'39"N	910	1985-2009
M'DAOUROUCH	12.04.03	7°50'10"E	36°05'10"N	770	1985-2010
BERRICHE	14.01.03	7°23'13"E	36°55'22"N	1420	1985-2011
MESKIANA	12.02.01	7°40'21"E	35°39'45"N	1050	1985-2012

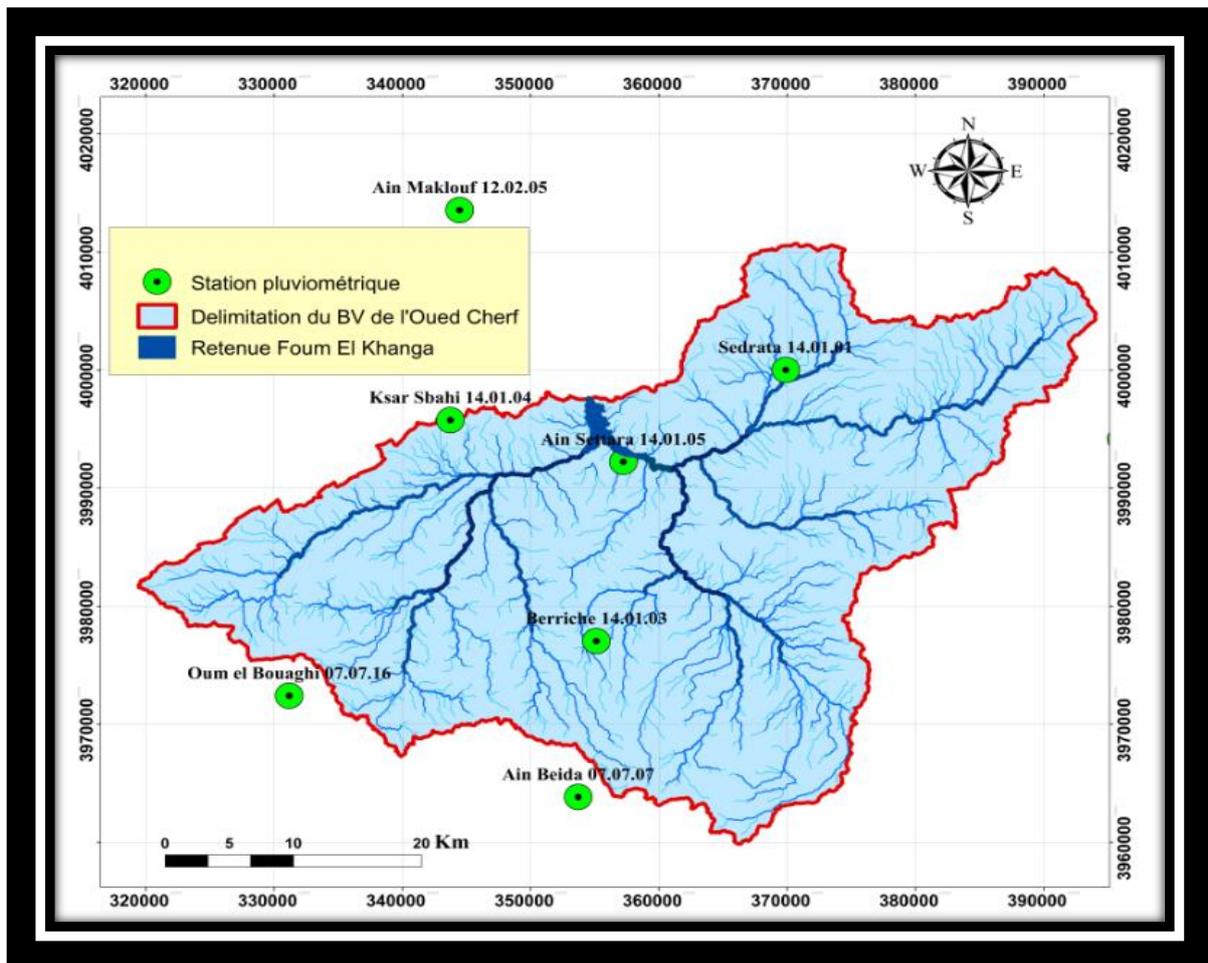


Figure 2.14. Carte de positionnement des stations pluviométriques

2.7.2. Facteurs climatiques :

2.7.2.1. Précipitations :

La précipitation est un facteur très important dans la détermination de l'abondance fluviale, qui conditionne l'écoulement saisonnier et influence directement le régime des cours d'eau (Roche, 1963, Cosandey et Robinson, 2000). Pour cela nous lui consacrons plus d'intérêt. La pluviosité dans cette région est conditionnée par deux phénomènes météorologiques importants. D'une part, les perturbations cycloniques d'origine atlantique de l'Ouest et du Nord-Ouest qui, après avoir traversé l'Espagne et une partie de la Méditerranée Occidentale, affectent le Nord-Est algérien et d'autre part les dépressions qui prennent naissance en Méditerranée Occidentale.

Les caractéristiques de la pluviosité dans la région d'étude résident dans sa grande variabilité annuelle, saisonnière et mensuelle. C'est une caractéristique du climat méditerranéen avec une concentration de la totalité des précipitations sur quelques mois de l'année, de novembre à avril au cours desquels, les précipitations gagnent sur l'évaporation. Une saison sèche de mai à octobre, où les précipitations sont déficitaires par rapport à l'évaporation et le minimum annuel s'observe toujours durant la période juillet-août. Pour l'interprétation des données pluviométriques dans notre région d'étude, nous avons

utilisé des séries de précipitation allant de 1985 jusqu'à 2004 soit 15 ans d'observation. Il faut noter que nous n'avons pas pu obtenir des données plus récentes.

2.7.2.1.1. Répartition moyenne mensuelle :

Pour caractériser le régime des pluies à une station exploitée depuis de nombreuses années, il est de tradition d'établir la courbe des hauteurs des pluies moyennes mensuelles en fonction du temps. Les pluies moyennes mensuelles d'après les neuf stations pour une période d'observation allant de (1985 à 2004) sont illustrées dans le tableau ci-dessous :

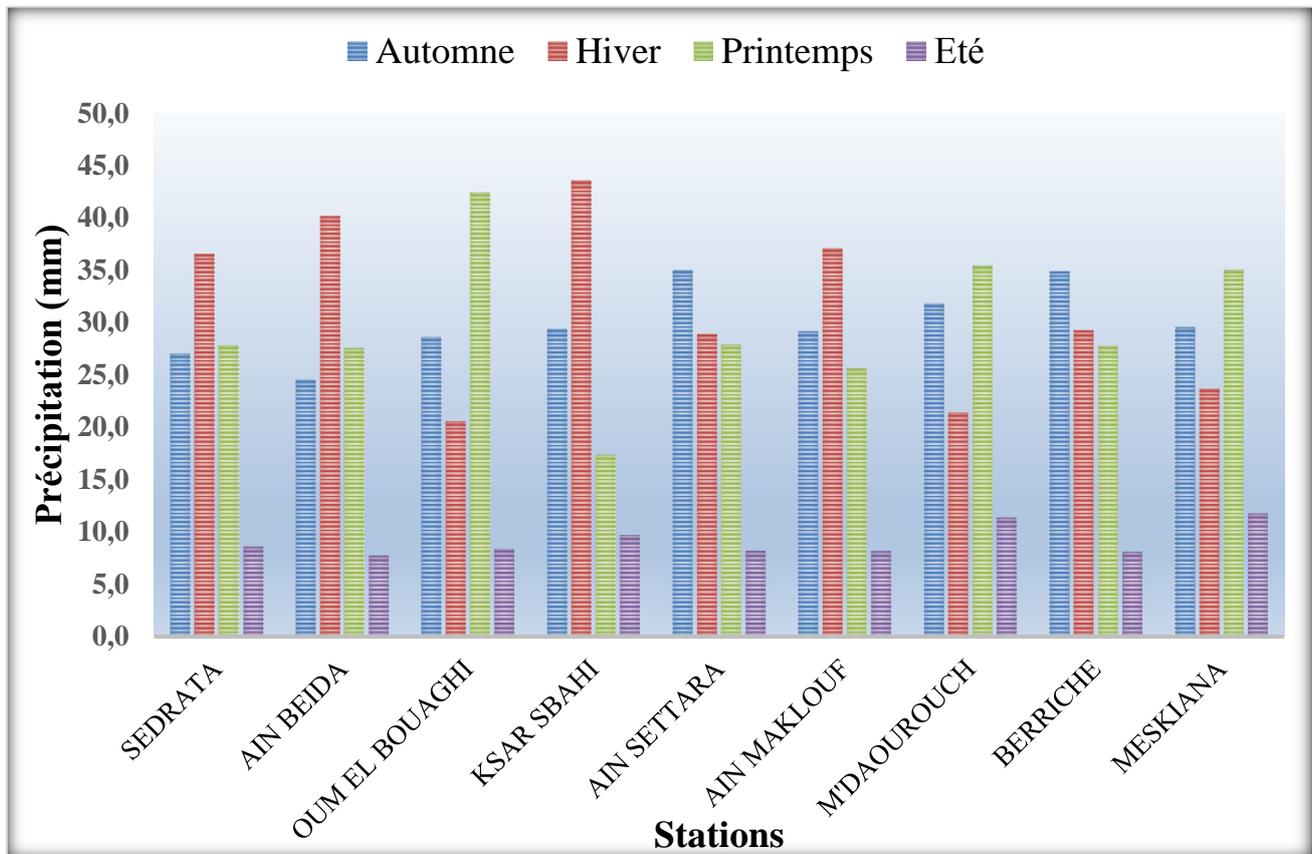
Tableau 2.10 Les hauteurs moyennes mensuelles des précipitations en mm (1985-2004)

Nom Station/ Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Annuel (mm)
SEDRATA	44,1	48,2	57,9	68,9	67,5	66,7	59,9	46,6	47,9	25,5	9,8	12,5	555,5
AIN BEIDA	19,2	30,8	52,1	81,5	39,8	45,6	42,3	30,4	41,9	20,4	4,9	6,8	415,7
OUM EL BOUAGHI	38,9	36,2	29,8	24,8	24,5	26,1	59,8	53,1	42,5	18,3	4,2	8,2	366,3
KSAR SBAHI	31,7	34,1	40,1	53,3	55,7	47,9	22,6	20,1	19,8	10,6	9,1	15,1	360,1
AIN SETTARA	32,4	29,5	39,2	36,6	26,2	20,7	29,2	29,2	22,2	11,1	5,4	7,1	288,7
AIN MAKLOUF	40,9	48,8	58,9	68,9	62,3	57,7	51,4	40,5	38,5	23,2	9,8	8,5	509,4
M'DAOUROUCH	39,3	34,4	37,5	23,9	22,4	28,5	45,4	36,9	41,5	20,4	8,8	10,5	349,6
BERRICHE	30,8	29,5	33,9	31,1	26,2	21,7	27,9	26,5	20,5	9,3	5,4	7,1	269,9
MESKIANA	37,2	28,0	36,1	26,5	23,9	30,5	42,2	38,9	38,8	19,5	10,8	9,9	342,3

La représentation graphique relative à la variation des précipitations moyennes mensuelles de des stations (tableau 2.10) montre la persistance du caractère irrégulier du régime pluviométrique avec un maximum enregistré au mois de Décembre et Janvier et février atteignant les 68.9 mm pour la station sédrata, pour la station de Settara son maximum atteint 39 mm au mois de novembre et Décembre. Un minimum est enregistré au mois juillet et d'Août.

2.7.2.1.2 Répartition saisonnière des précipitations :

L'étude de la répartition saisonnière est indispensable pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons. Nous avons calculé le pourcentage des précipitations de chaque saison par rapport au total annuel (Tableau 2.11).

Tableau 2.11. Répartition saisonnière des précipitations**Figure 2.15.** Répartition saisonnière des précipitations

Nom Station/ Mois	Automne (sep-oct-nov)	Hiver (Dec-Janv-Fév)	Printemps (Mars-avri-Mais)	Eté (Jui-juilAout)
SEDRATA	27,0	36,6	27,8	8,6
AIN BEIDA	24,6	40,2	27,6	7,7
OUM EL BOUAGHI	28,6	20,6	42,4	8,4
KSAR SBAHI	29,4	43,6	17,4	9,7
AIN SETTARA	35,0	28,9	27,9	8,2
AIN MAKLOUF	29,2	37,1	25,6	8,1
M'DAOUROUCH	31,8	21,4	35,4	11,4
BERRICHE	34,9	29,3	27,8	8,1
MESKIANA	29,6	23,6	35,0	11,8

La répartition saisonnière des pluies (Tableau.2.11) montre, que l'été correspond à la saison la plus sèche. La période s'étalant de l'automne et l'hiver forme une saison humide durant laquelle s'effectue la plus grande partie des écoulements.

2.7.3. Les précipitations annuelles :

2.7.3.1. Répartition interannuelle des précipitations :

Les modules pluviométriques sont généralement élevés, ils varient entre 555 mm et 288 mm (Fig 2.16).

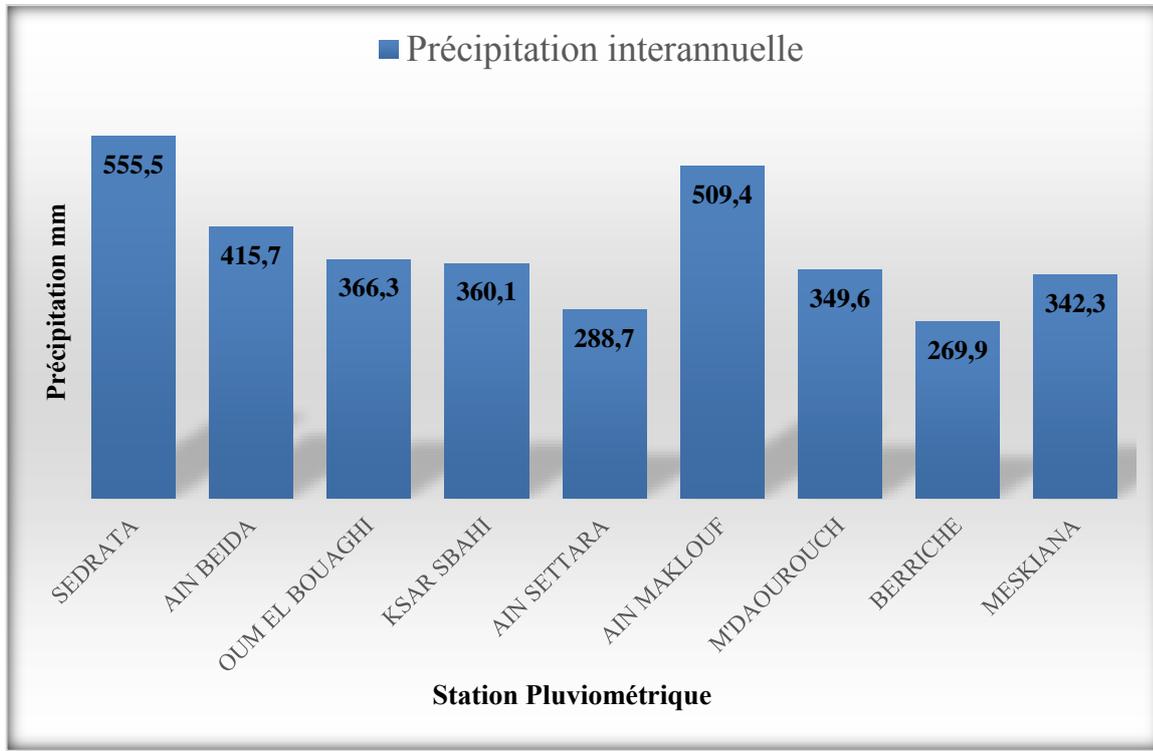


Figure 2.16. Le module pluviométrique interannuel (mm) durant la période (1970-2012)

2.7.3.2. La méthode des polygones de Thiessen :

C'est une méthode arithmétique dans laquelle on attribue à chaque pluviomètre un poids proportionnel à une zone d'influence définie géométriquement. Elle convient notamment quand les précipitations ne sont pas uniformément réparties sur toute la surface du bassin. La précipitation moyenne sur le bassin s'écrit :

$$P_{moy} = \sum_{i=1}^{i=n} P_i \times S_i / S_{bv}$$

Avec :

P_{moy} : précipitation moyenne sur le bassin.

P_i : précipitation enregistrée à la station i .

S_i : superficie du polygone associée à la station i .

S_{bv} : superficie totale du bassin.

Les résultats sont reportés dans le tableau suivant :

Tableau 2.12. Pluie annuelle et la surface d'influence pour chaque station

N° de Polygone	Nom Station	CODE	Pluie moyennes annuelles P_i (mm)	Surface des polygones (A_i) km ²	pluie moyenne (P_{moy}) mm
S1	SEDRATA	14.01.01	556	143	384
S2	AIN BEIDA	07.07.07	416	2	
S3	OUM EL BOUAGHI	07.07.16	366	119	
S4	KSAR SBAHI	14.01.04	360	453	
S5	AIN SETTARA	14.01.05	289	235	
S6	AIN MAKLOUF	12.01.05	509	196	
S7	M'DAOUROUCH	12.04.03	350	172	
S8	BERRICHE	14.01.03	270	408	
S9	MESKIANA	12.02.01	342	48	

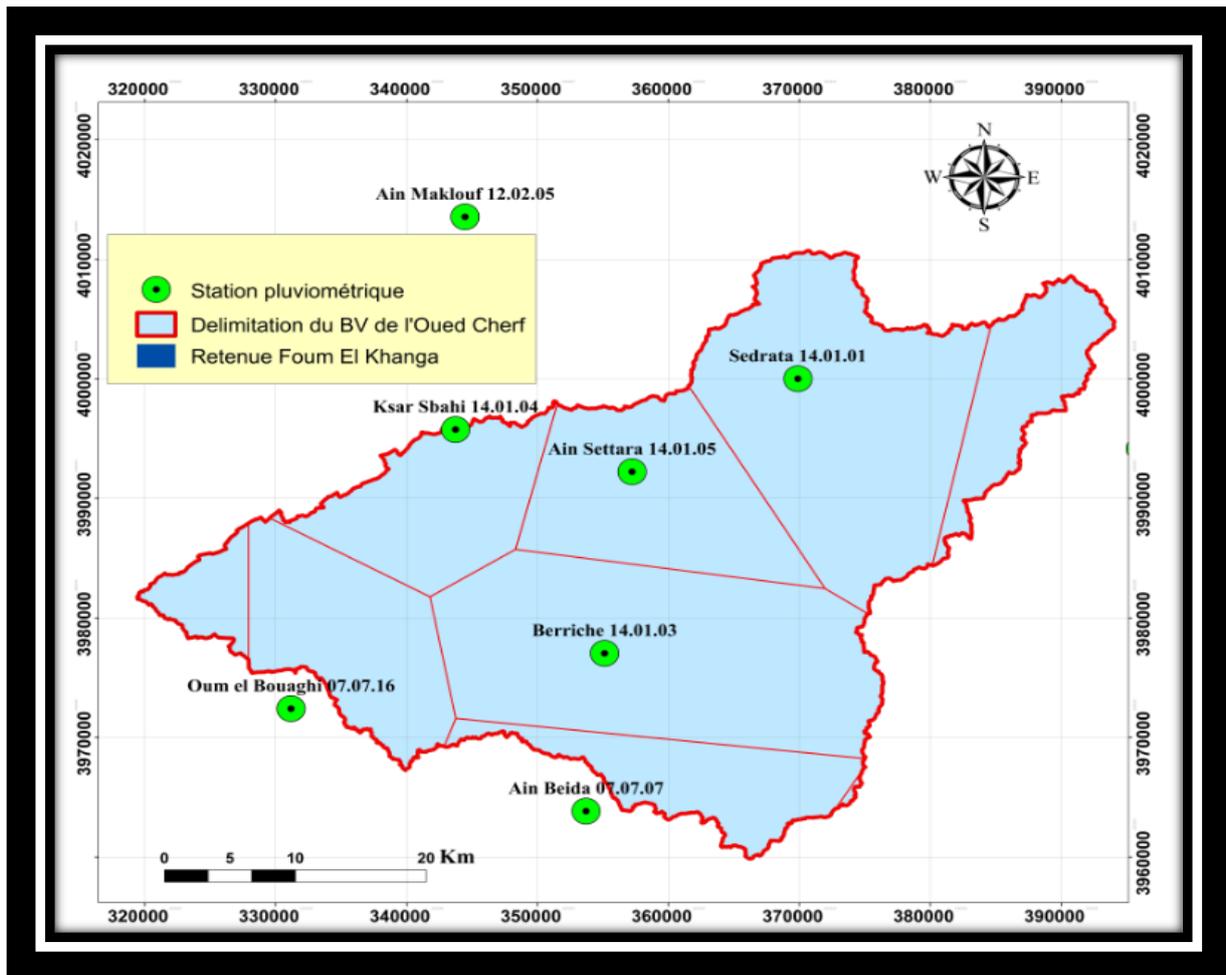


Figure 2.17.Le polygone de Thiessen du bassin versant d'Oued Cherf

2.7.3.3. Méthode des isohyètes :

Pour trouver la pluie moyenne par cette méthode, il faut déterminer les superficies du bassin comprises entre les différentes isohyètes. Le calcul de la précipitation moyenne dans le bassin se fait selon la formule suivante :

$$P_{\text{moy}} = \frac{1}{S_t} \sum_{i=1}^{m-1} S_i \times \frac{(P_i + P_{i+1})}{2}$$

Sachant que : S_i : superficie entre deux isohyètes successives P_i et P_{i+1} .

S_t : surface totale du bassin.

m : nombre d'isohyètes représentées dans le bassin.

$P_{\text{moy}} = 730 \text{ mm}$

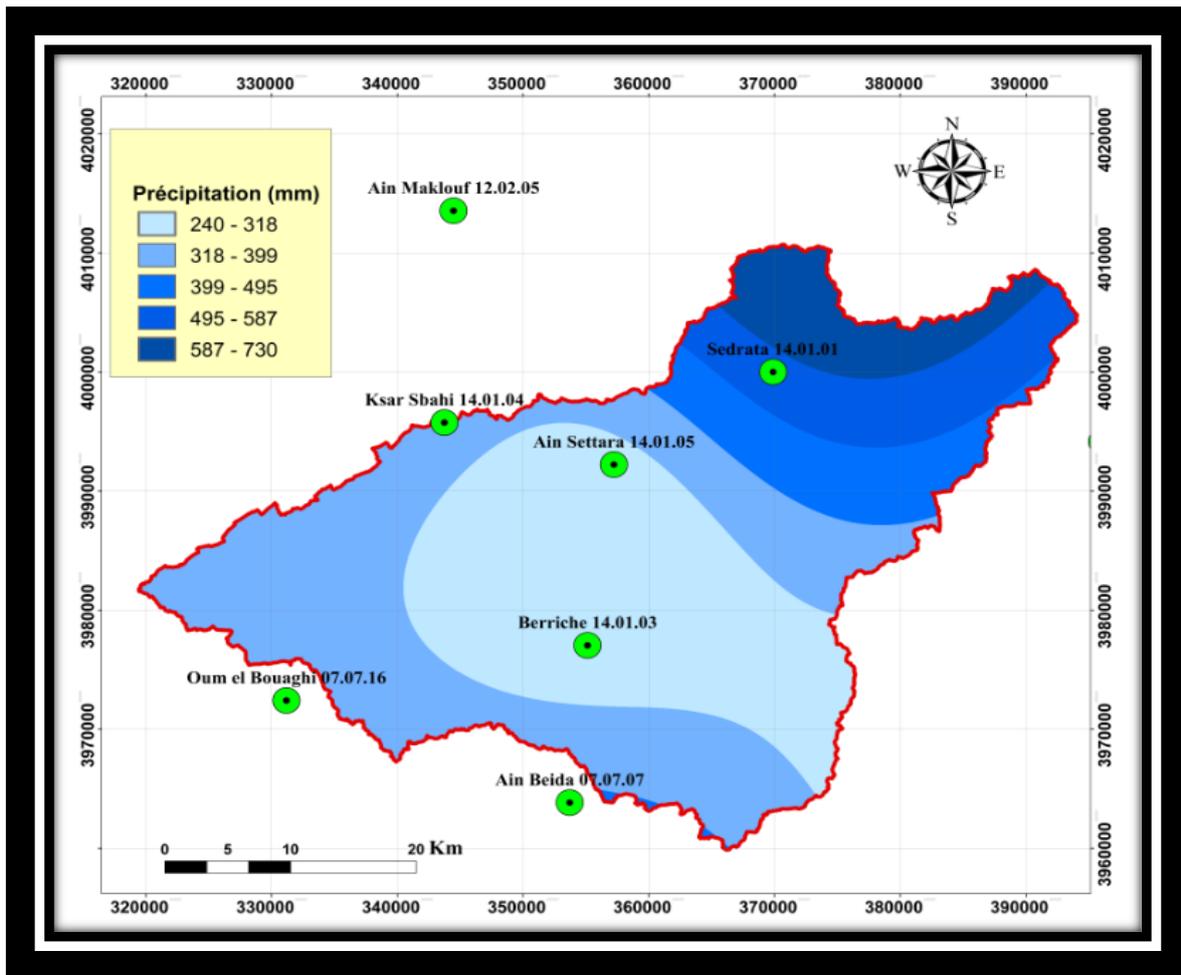


Figure 2.18. Carte des isohyètes pour le bassin d’oued cherf L’application de cette méthode, donne une hauteur pluviométrique moyenne annuelle de 553.8 mm sur la totalité de la superficie du versant d’Oued cherf. Nous avons regroupés les résultats obtenus par les trois méthodes dans le tableau (2.13)

Tableau 2.13. Précipitations en (mm) estimées par deux méthodes

Méthode	Pluie Moyenne en (mm)
Polygones de Thiessen	361.04
Isohyètes	553.8

Parmi les trois méthodes nous retenons la méthode des isohyètes en raison de sa précision, relativement acceptable, pour évaluer la pluviométrie moyenne du BV : $P = 553.8 \text{ mm}$.

2.8. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons essayé de présenter les grands traits morphologiques du bassin versant de l'oued Cherf, et qui ont une influence sur l'écoulement de surface d'une manière générale. Le bassin versant s'étend sur une superficie de 1776 km² et un périmètre de 262.62 km. La valeur de l'indice de compacité permet d'affirmer que ce bassin présente dans l'ensemble une forme moyennement allongée, Il est caractérisé par un relief fort, avec une pente moyenne élevée, le réseau hydrographique bien drainé présente une hiérarchisation moyenne. Le temps de concentration du bassin versant est de 6,95 heures.

L'étude hydro climatologique nous a permis de déterminer que la zone d'étude est caractérisée par un climat de type subhumide à hiver doux avec deux saisons distinctes lune pluvieuse et humide allant au début du mois de Novembre jusqu'à la fin du mois d'Avril, l'autre sèche et chaude débute du mois de Mai jusqu'à la fin du mois de Septembre. La région d'étude reçoit des précipitations annuelles moyennes de l'ordre de 553.8 mm sur une période de 15 ans (1985-2004). Sur le plan mensuel, le mois de Mars est généralement le plus humide ; Juillet et Août étant les plus secs.

Chapitre 3

Cartographie et évaluation quantitative de l'érosion hydrique

3.1. Introduction

L'érosion hydrique constitue l'un des principaux facteurs de la dégradation des terres (Bouguerra et al. 2017). Elle impacte négativement les retombées socio-économiques à l'échelle locale, régionale et nationale. L'accentuation de la dégradation des sols dépend de plusieurs facteurs naturels et anthropiques favorisant le déclenchement et le développement des processus d'érosion. Ces facteurs sont divisés en deux catégories, ceux qui sont de nature quasi-statiques (infiltration, érodibilité et morphologie) et les autres qui ont une variabilité dans le temps tels que le couvert végétal, l'utilisation du sol, l'intensité des pluies et les pratiques agricoles (Roose et Lelong 1976, Vrieling 2005, Boukheir et al. 2006).

Afin de traiter la spatialisation de l'érosion d'un point de vue quantitatif, il est nécessaire de recourir à la modélisation. Nous nous sommes donc intéressés aux processus de transfert des sédiments depuis le versant jusqu'au réseau hydrographique et aux différents modèles s'y attachant afin de savoir s'il était possible de coupler un modèle hydrodynamique à la spatialisation de l'aléa érosion (Printemps, 2007).

3.2. Méthode utilisée d'évaluation de l'érosion hydrique

De nombreux modèles mathématiques ont été établis pour estimer le risque d'érosion des sols. Parmi ceux-ci et les plus connus (7): Universal Soil Loss Equation (USLE) de Wischmeier et Smith, (1978), Soil Erosion Model for Mediterranean Areas (SEMMED) Morgan and Finney (1984); Water Erosion Prediction Project (WEPP) de Flanagan and Nearing, (1995). Le choix d'un modèle particulier dépend du but recherché et des données disponibles. Un des plus utilisés durant les 30 dernières années est le modèle de l'équation universelle de perte de sol (USLE) et sa version révisée (RUSLE) utilisée dans le cas étudié (Nighat Rasoo et al, 2014), ce modèle permet d'évaluer les pertes en terres et les taux moyens annuels d'érosion pour des prédictions à long terme sur l'ensemble du bassin-versant, exprimée en t ha⁻¹ an⁻¹. Cependant, le modèle est limité dans le sens où il ne peut pas simuler l'érosion du lit de dépôt, ou en ravin (Foster, 1988). Le modèle de l'équation universelle de pertes en sol (Wischmeier et Smith, 1978) s'applique à la quantification des pertes en sol par érosion en nappe et en rigole. Il s'agit d'un modèle empirique qui prend en compte des paramètres du relief et climatiques ayant une incidence sur la vitesse de l'érosion hydrique, à savoir, l'agressivité des précipitations, l'érodibilité des sols, l'inclinaison et la longueur de la pente, le couvert végétal et les pratiques antiérosives. L'équation du modèle se présente sous la forme (4.1) :

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Où :

A : perte annuelle de sol exprimée en t/ha/an.

R : facteur d'érosivité des pluies exprimé en MJ.mm/ha.h.an.

K : facteur d'érodibilité des sols exprimé en t.ha.h/ha.MJ.mm.

LS : facteur topographique indiquant la pente et la longueur de pente adimensionnel.

C : facteur adimensionnel de la couverture végétale et des pratiques culturales.

P : facteur adimensionnel relié aux pratiques de conservation des sols.

3.3 Données et Méthode d'évaluation de l'érosion utilisée :

Les données de télédétection multi-temporelles et les SIG sont utilisés pour évaluer et Cartographier chaque facteur individuellement et à les spatialiser en utilisant les images satellitaires LANDSAT. L'USLE est la combinaison de cinq facteurs spécifiques qui décrivent leur caractéristiques et qui contrôlent l'érosion de chaque bassin versant, qui présentent des taches complexes pouvant être résolus avec l'intégration de

plusieurs sources de données (données spatiales, mesures, enquêtes sur le terrain et images satellitaires). Des couches individuelles ont été créées pour chaque paramètre de l'USLE et sont ensuite combinées par une procédure de modélisation dans la grille du SIG ARCGIS.

Chaque grille de facteur avait une taille de cellule de 30 m. Toutes les couches ont été projetées en UTM zone 32 N en utilisant le WGS 1984. L'application de l'équation universelle des pertes en terre dans le bassin versant de l'Oued Chref se résume par le calcul des différents facteurs sur toute la superficie de chaque bassin versant et leur présentation sous forme de cartes thématiques (facteur d'agressivité climatique, facteur d'érodibilité des sols, facteur d'inclinaison et longueur de pente, facteur de la couverture végétale, et facteur pratiques antiérosives). L'intégration de ces cartes dans le système d'information géographique ARCGIS nous a permis de les superposer et d'évaluer le taux d'érosion en appliquant la formule de Wischmeier et Smith. Le schéma ci-dessus résume les étapes précédentes :

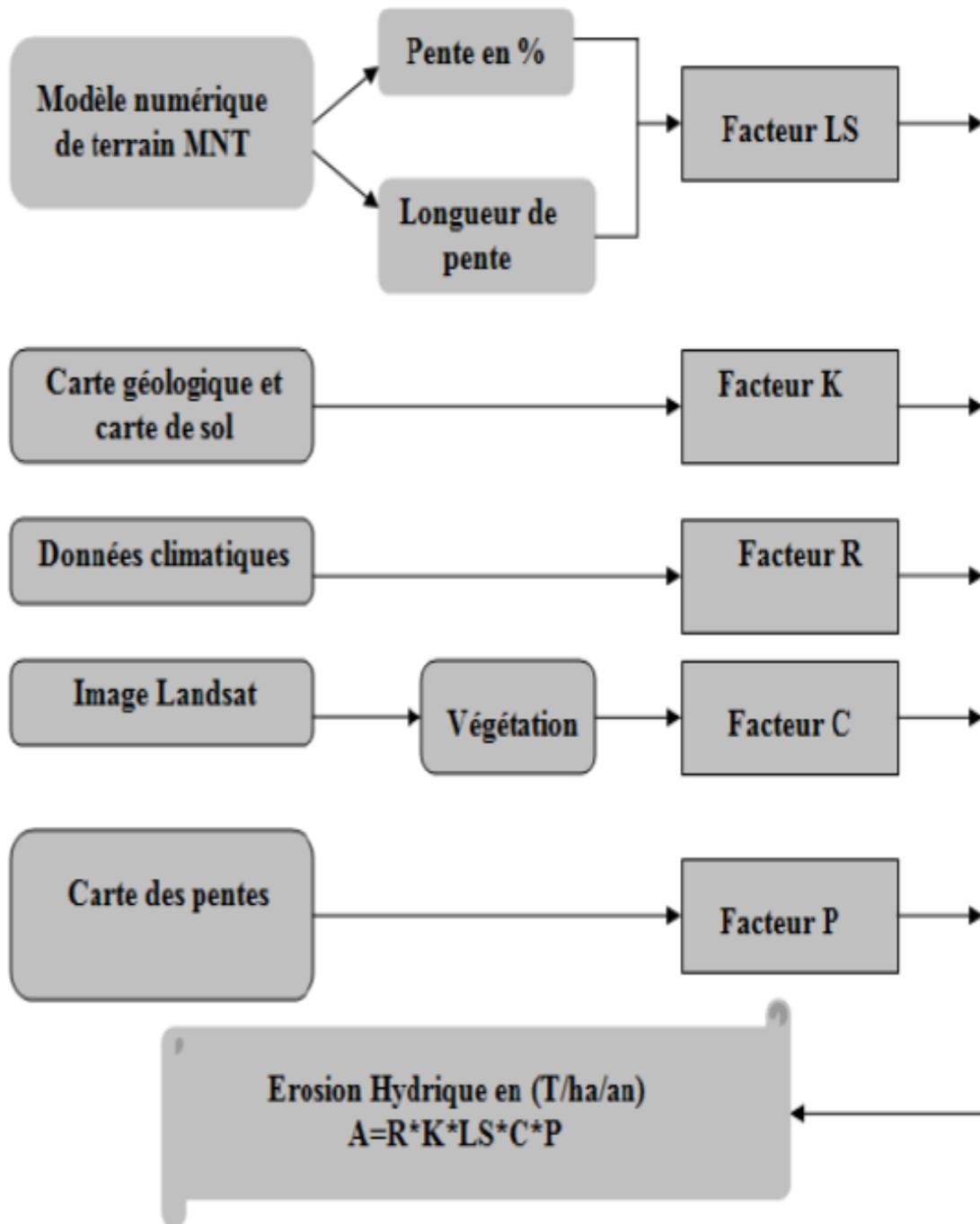


Figure 3.1. Schéma des procédures adoptées pour l'évaluation de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Cherf

3.4. Détermination des paramètres d'érosion

3.4.1. Facteur d'érosivité des pluies (R) :

L'érosivité des pluies est un facteur climatique qui représente la force d'agressivité des pluies sur le sol (Renard et al., 1997; Loureiro et Coutinho, 2001; Zhang et Fu, 2003). Selon la formule de Wischmeier et Smith (1978), l'intensité est celle qui accuse la plus forte corrélation à la quantité de sol érodé. De nombreuses formules permettent le calcul de R en fonction des précipitations annuelles ou de l'indice de Fournier (Kalman, 1970 ; Roose, 1977 ; Arnoldus, 1980 ; Renard et Freimund, 1994). Ces formules de substitution ont été appliquées dans différents travaux impliquant une modélisation USLE (Morschel et Fox, 2004 ; Sadiki et al., 2004 ; El Gouarani et al., 2008) et ont donné des résultats satisfaisants. Les seules données disponibles dont la région d'étude, sont les pluies moyennes mensuelles et annuelles. Pour remédier à ce manque de données pluviométriques de la formule de Wischmeier et Smith (1978), Un certain nombre d'auteurs (Kalman, 1967, Arnoldus, 1987, Rango & Arnoldus, 1987) ont développé des formules alternatives qui se basent sur les données disponibles pour déterminer l'agressivité climatique.

Pour le bassin versant de l'Oued cherf, nous avons opté pour l'utilisation de la formule de Rango et Arnoldus (1987) pour le calcul du facteur d'agressivité climatique. Cette formule a été largement appliquée dans la région maghrébine et utilisée par plusieurs auteurs (Sadiki et al. 2004 au Maroc, Toumi et al., 2013 en Algérie), Ceci pour des raisons :

- les résultats encourageants obtenus par les auteurs précités.
- la diversité des milieux algériens où cette formule a été appliquée.

$$\text{Log R} = 1,74 \cdot \text{Log} \Sigma \left(\frac{\text{Pi}^2}{\text{P}} \right) + 1,29$$

Où :

Pi : représente les précipitations mensuelles mm.

P : les précipitations annuelles en mm.

Pi et P sont calculés en utilisant les données de 06 stations pluviométriques réparties dans la région d'étude et pour une période de 42 ans (1985-2004). Par la suite, les résultats ont été interpolés sur toute la superficie du bassin versant.

3.4.2. Facteur d'érodibilité du sol (K) :

L'érodibilité d'un sol se traduit par la résistance inhérente au détachement des particules du sol par l'eau. Les paramètres comme la stabilité structurale et sa texture contribuent à influencer la sensibilité des sols à l'érosion (Roose et Sarrailh, 1990). Le facteur K est en fonction de la texture, la teneur du sol en matière organique, et la perméabilité du sol.

3.4.3. Facteur d'érodibilité K de Williams :

il est donné par l'équation ci-dessous :

$$K = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand}$$

Avec :

f csand : facteur qui abaisse l'indicateur K dans les sols à forte teneur en sable grossier et plus élevé pour les sols peu sableux.

f cl-si : facteur d'érodabilité du sol faibles pour les sols avec rapports argile-silt élevés.

f orgc : valeurs de K dans les sols avec teneur élevée en carbone organique.

f hisand : valeurs K pour les sols à très haute teneur en sable.

Ces valeurs sont données en tonne/acres (Système US), et nécessitent d'être converties dans le système international par la multiplication de K par un facteur correctif de 0,1317.

Tableau 3.1. Variation de l'érodabilité du sol (K) en fonction du type de sol (*Stone et Hilborn, 2000*).

Classe texturale	Facteur K (tonne/acres)	Facteur K (t.ha.h/ha.MJ.mm)
Argile	0.22	0.02897
Loam argileux	0.3	0.03951
Loam sableux gossier	0.07	0.00922
Sable fin	0.08	0.01054
Loam sableux fin	0.18	0.02371
Argile lourde	0.17	0.02239
Loam	0.3	0.03951
Sable fin loameux	0.11	0.01449
Sable loameux	0.04	0.00527
Sable très fin loameux	0.39	0.05136
Sable	0.02	0.00263
Terre franche argileuse	0.2	0.02634

3.4.4. Facteur topographique (LS) :

Ce facteur représente l'effet de la topographie sur les pertes en sol en raison de la longueur de la pente (L) et de son inclinaison (S) (*McCool et al, 1987*). Ces paramètres influencent considérablement l'érosion des sols (*Roose, 1994*) et sont le plus souvent combinés en un facteur unique adimensionnel (LS). La longueur de pente conditionne la vitesse de ruissellement et le transport des particules croît en fonction de la longueur de la parcelle, plus la longueur de la parcelle est grande, plus la vitesse augmente (*McCool et al, 1989*). De même, les transports solides croissent de façon exponentielle avec le pourcentage de pente (*Zingg, 1940; Hudson, 1973; Roose, 1994*). Les particules d'eau qui ruissellent emmagasinent donc une énergie plus importante qui se traduit par la création et le creusement de rigoles (*Printemps, 2007*).

De nombreuses formules ont été proposées, mais elles ne sont pas applicables de manière universelle. De plus, tout comme pour l'inclinaison de la pente, il faut prendre en compte le type d'érosion pour pouvoir déterminer quelle est l'influence de la longueur de la parcelle (Fig. 3.2) (*Printemps, 2007*).

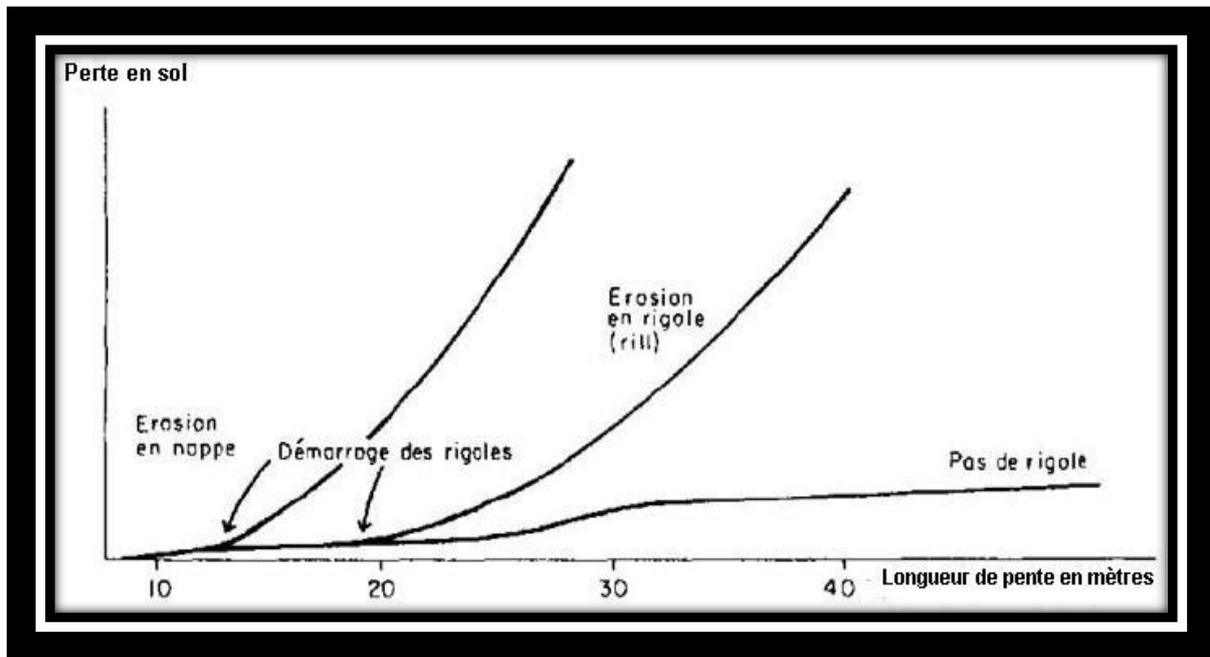


Figure 3.2. Perte en terre en fonction de la longueur de la pente et du type d'érosion (d'après Roose, 1994).

Le facteur (LS) peut être calculé selon l'équation de Wischmeier, établie pour des parcelles expérimentales de 22,1 m et 9 % de pente. Elle constitue l'équation de référence la plus usitée permettant de définir le facteur LS et se définit par :

$$LS = \left(\frac{L}{22.13}\right)^m \cdot (0.065 + 0.045 \cdot S + 0.065 \cdot S^2)$$

Où :

L : longueur de la pente ;

m : exposant établi en fonction de la pente (tableau 3.2).

Tableau 3.2. Variation de m en fonction de la pente

Pente (%)	P < 1	1 ≤ P ≤ 3	3 ≤ P ≤ 5	P ≥ 5
m	0.2	0.3	0.4	0.5

S : inclinaison de la pente (%), ce facteur (S) est estimé par deux régressions données par (Mc Cool et al. 1995 ; Renard et al. 1991) :

S = 10.8 sinθ + 0.03 si la pente est inférieure à 9%.

S = 16.8 sinθ - 0.50 si la pente est supérieur ou égale à 9%.

θ : Angle par rapport à l'horizontale Pour le cas de notre étude, le calcul et la spatialisation du facteur (LS) a nécessité l'établissement de la carte des pentes et la carte des flux par l'utilisation d'un modèle numérique de terrain (MNT) obtenu à partir du satellite Aster (résolution 30 m) avec plusieurs prétraitements (SIG). Le facteur (LS) a été par la suite calculé pour chaque parcelle à partir de son inclinaison (S en %) et de sa longueur (L en m) selon l'expression de l'équation.

3.4.5. Facteur d'exploitation du couvert :

C'est le facteur le plus important de la protection du sol contre le risque érosif. Les pertes en sol diminuent avec l'augmentation du couvert végétal (*Soutter et al, 2007*). Ce facteur est le plus complexe à déterminer, sa variation repose essentiellement sur le type d'assolement, de rotation, la nature, la densité et le stade végétatif des cultures (*Souadi, 2011*). Le type de couvert végétal est à prendre absolument en compte puisque c'est de lui que va dépendre l'amortissement des gouttes de pluies, le ralentissement de l'écoulement et l'infiltration (*Roose, 1994*). Le facteur C dépend :

- du pourcentage de sol nu, l'érosion intervenant majoritairement sur des sols nus lors d'épisodes pluvieux agressifs.

- de la hauteur du couvert végétal, il est intéressant d'avoir un couvert végétal, mais si celui-ci est trop élevé, l'amortissement des gouttes de pluies n'interviendra plus. En effet, après une première interception, les gouttes seront de nouveau rejetées vers le sol.

- de l'architecture des plantes, des plantes en forme d'entonnoir auront tendance à drainer l'écoulement et à provoquer des ravinelements. A l'inverse, les plantes dites "parapluie" vont disperser les gouttes d'eau et donc diminuer leur énergie. La valeur de C varie de près de zéro pour les sols bien protégés à 1 pour les surfaces striées très sensibles à l'érosion en rigoles (*Angima et al, 2003*). Il peut être calculé à l'aide de nomogrammes proposés par *Roose en 1994*, ce graphe est établi en fonction du pourcentage de couverture du sol et de la hauteur de la végétation (Fig.3.3) ou estimé en prenant des valeurs connues pour un certain type de végétation ou de culture (Tableau 3.3).

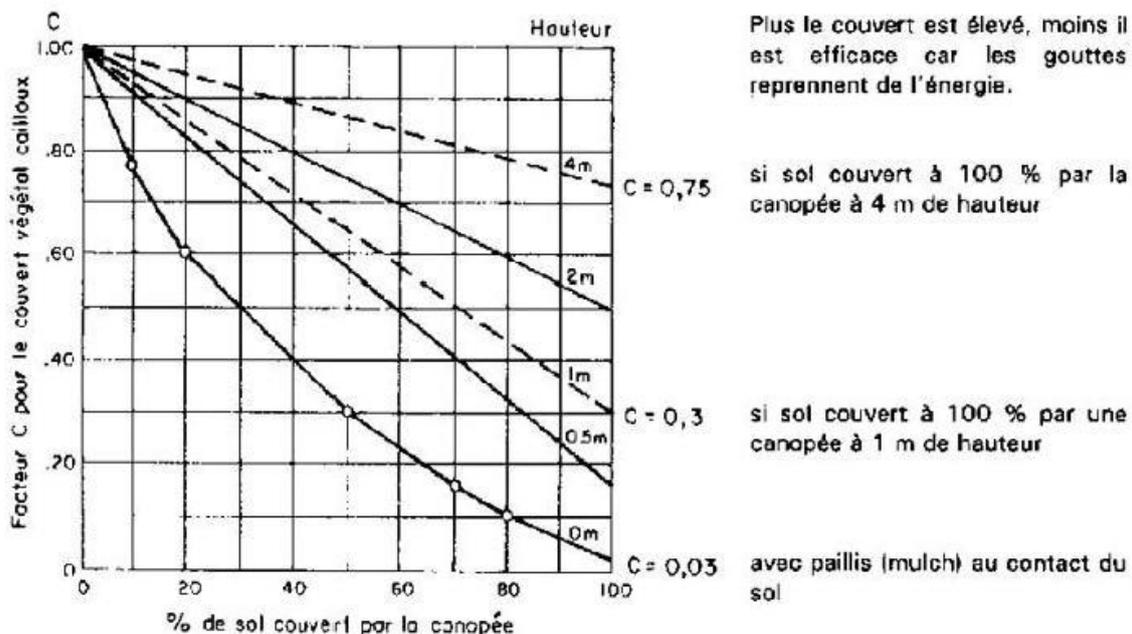


Figure 3.3. Valeur du facteur du couvert végétal (*Roose, 1994*)

Plusieurs effets du type de couverture végétale et du type de culture sont présentés par *WISCHMEIER et SMITH (1965)* sous la forme de tableaux.

Tableau 3.3. La valeur de (C) pour différentes cultures et pratiques.

COUVERTURE VEGETALE ET UTILISATION DE LA TERRE	VALEUR DE "C"
Forêt dense	0.003 - 0.01
Forêt éclaircie avec sous strate herbacé dense	0.003 - 0.01
Forêt éclaircie avec sous strate herbacée dégradée	0.01 - 0.1
Buisson dense	0.003 - 0.03
Buisson clair avec substrat herbacé dense	0.003 - 0.03
Buisson clair avec substrat herbacé dégradé (ouvert)	0.03 - 0.10
Etendue désertique	0.003 - 0.04
Pâturage naturel complet	0.03 - 0.01
Pâturage naturel (nourriture pour animaux)	0.04 - 0.20
Pâturage cultivé (géré)	0.003 - 0.04
Terrains dépourvus de végétation	0.9 - 1.0

Autre Tableau avec valeurs du facteur "C", ou sont montrées les variations de 0.058 dans un reboisement dense à 1.0 dans un sol nu selon *Sadiki en 2004*.

Tableau 3.4. Valeur de C pour différents types de couvert végétal (*Sadiki et al., 2004*)

Type de couvert végétal	C
reboisement dense	0.058
Forêt moyennement dense	0,13
matorral dégradé, parcours dense	0,17
reboisement clair	0,18
matorral clair, parcours dense,	0,20
Matorral très dégradé	0,22
steppes à alfa	0,32
céréaliculture	0,70
Terrain nu	1

La détermination de ce facteur pour le bassin versant de l'Oued Cherf a été établie à partir de la carte d'occupation du sol, la réalisation de cette carte s'est faite en se basant sur l'interprétation d'images satellites Landsat-8 acquise en 2020, qui a été traitée, classée et validée, pour réaliser plusieurs cartes thématiques, notamment les cartes des formations forestières, des parcours et des terres agricoles de la région. En l'absence d'information sur le pourcentage de sols recouvert par la canopée et de la hauteur des différents types de couvert végétal, le facteur C n'a pu être calculé à partir du graphique linéaire proposé par *Roose en 1994 (Figure 3.3)*. Le facteur C a été attribué aux différents types d'utilisation

de sols en se référant aux tableaux de *Wischmeier et Smith (1978)* qui donnent des valeurs préétablies pour les forêts, les matorrals et les pâturages aux Etats-Unis, ainsi que pour des cas étudiés en Tunisie par *Cormary et Masson (1963)* concernant les types de cultures et les rotations culturales.

3.4.6. Facteur de pratique anti-érosive

Le facteur (P), adimensionnel, reflète la protection du sol par les pratiques agricoles qui réduisent la quantité et la vitesse d'eau de ruissellement, diminuant ainsi les effets de l'érosion hydrique (*Payet, 2011*). Il prend en compte les techniques de conservation des sols adoptées : tels que les cultures en courbe de niveau, en bandes alternées ou en terrasse, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage naturel ou artificiel (*Roose, 1994*). Le tableau 3.5 ci-dessous donne quelques exemples de valeurs du facteur P par type de pratique anti-érosive.

Tableau 3.5. Valeurs du facteur P (*Wischmeier & Smith, 1978*)

Type de pratique anti-érosive	Pente	Longueur maximale	Facteur P
Culture en courbe de niveau	1 à 8%	61 à 122 m	0.5
Culture en courbe de niveau	9 à 12%	36 m	0.6
Culture en courbe de niveau	13 à 16%	24 m	0.7
Culture en courbe de niveau	17 à 20%	18 m	0.8
Culture en courbe de niveau	21 à 25%	15 m	0.9
Culture en courbe de niveau avec bandes enherbées	1 à 8%	30 à 40 m	0.25 à 0.5
Culture en courbe de niveau avec bandes enherbées	9 à 16%	24 m	0.3 à 0.6
Culture en courbe de niveau avec bandes enherbées	17 à 25%	15 m	0.4 à 0.9

Dans le modèle RUSLE, l'érosion potentielle est donc le résultat du produit de cinq facteurs : l'érosivité des pluies, l'érodibilité du sol (amélioration de la structure des sols), la topographique (longueur et l'inclinaison de la pente), l'occupation du sol (amélioration du couvert végétal) et les pratique anti-érosive (aménagement des travaux). La modélisation est par la suite mise en œuvre par le croisement des cartes thématiques entre elles. La combinaison des couches s'appuie sur des règles arithmétiques et des opérateurs booléens afin de produire une nouvelle valeur dans la couche composite, ici représentative pour chaque pixel des pertes de sols (A) (*Payet, 2011*).

3.5. Résultats et discussion

Les résultats présentés détaillent d'une part le calcul et la spatialisation des différents facteurs de l'équation RUSLE (R, K, LS, C, P) et d'autre part la spatialisation et l'estimation des pertes de sols potentiellement émises (A) sur le bassin versant de l'oued Cherf. Les résultats obtenus dans le cadre de cette étude permettent de mettre en évidence le potentiel érosif du bassin versant. Ils permettent une évaluation des pertes de sols moyenne annuelle potentiellement fournie pour chaque parcelle du bassin versant selon la modélisation RUSLE.

3.5.1. Calcul du facteur d'érosivité des précipitations (R)

Les données sur les précipitations relevant du site Worldclim mondiale (open source) qui représente des bases de données satellitaire, des moyennes mensuelles et annuelles.

Les précipitations moyennes mensuelles montrent un régime pluviométrique irrégulier. La période pluvieuse s'étend entre les mois de décembre jusqu'au mois de février avec une moyenne annuelle de 553.8 mm. A partir des données pluviométriques relevées dans le bassin, nous avons déterminé le facteur d'érosivité R pour chaque station par l'application des relations de FOURNIER et celle d'ARNOLDUS, les résultats obtenus sont présentés dans le tableau (3.6).

Tableau 3.6. Les résultats du facteur R pour six stations

Nom Station/ Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	Somme	Facteur R
SEDRATA	44,1	48,2	57,9	68,9	67,5	66,7	59,9	46,6	47,9	25,5	9,8	12,5	555,5	106,2
AIN BEIDA	19,2	30,8	52,1	81,5	39,8	45,6	42,3	30,4	41,9	20,4	4,9	6,8	415,7	83,3
OUM EL BOUAGHI	38,9	36,2	29,8	24,8	24,5	26,1	59,8	53,1	42,5	18,3	4,2	8,2	366,3	63,7
KSAR SBAHI	31,7	34,1	40,1	53,3	55,7	47,9	22,6	20,1	19,8	10,6	9,1	15,1	360,1	62,1
AIN SETTARA	32,4	29,5	39,2	36,6	26,2	20,7	29,2	29,2	22,2	11,1	5,4	7,1	288,7	40,6
AIN MAKLOUF	40,9	48,8	58,9	68,9	62,3	57,7	51,4	40,5	38,5	23,2	9,8	8,5	509,4	95,8
M'DAOUROUCH	39,3	34,4	37,5	23,9	22,4	28,5	45,4	36,9	41,5	20,4	8,8	10,5	349,6	51,5
BERRICHE	30,8	29,5	33,9	31,1	26,2	21,7	27,9	26,5	20,5	9,3	5,4	7,1	269,9	36,0
MESKIANA	37,2	28,0	36,1	26,5	23,9	30,5	42,2	38,9	38,8	19,5	10,8	9,9	342,3	48,4

Ont été interpolées les valeurs obtenues du facteur R sur l'ensemble du bassin versant à l'aide de la méthode Krigeage Ordinaire dans le SIG.

La mesure de la quantité annuelle totale et la répartition spatiale de pluie érosive aux stations, montre que le bassin versant de l'oued cherf est soumis à une agressivité pluviale. La carte de spatialisation du facteur R (Fig.3.4) montre un étagement croissant des valeurs avec la topographie.

Les valeurs du facteur R varient entre 36 et 106, avec une moyenne établie à 65.3. Les valeurs R les plus faibles ont été enregistrées dans la partie centrale du bassin versant et les plus élevées ont été enregistrées dans la partie sud-est. Selon la figure (3.5), plus de 80% de la zone d'étude est soumise à une agressivité climatique élevée, elle présente des valeurs de facteur R supérieures à 106. Ces résultats permettent de déduire que le bassin est soumis à une érosion pluviale importante.

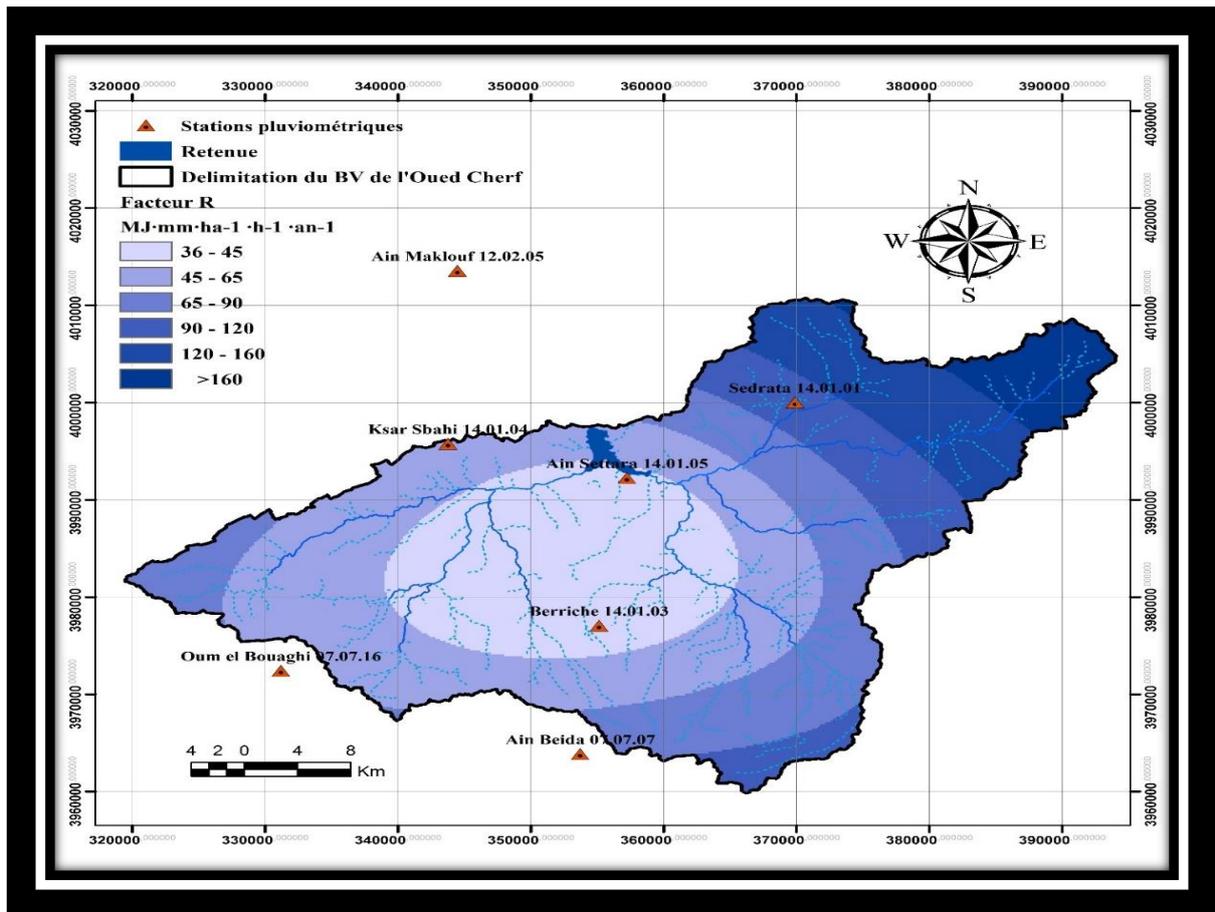


Figure 3.4. Variation spatiale du facteur d'érosivité de pluie R en ($\text{MJ}\cdot\text{mm}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$)

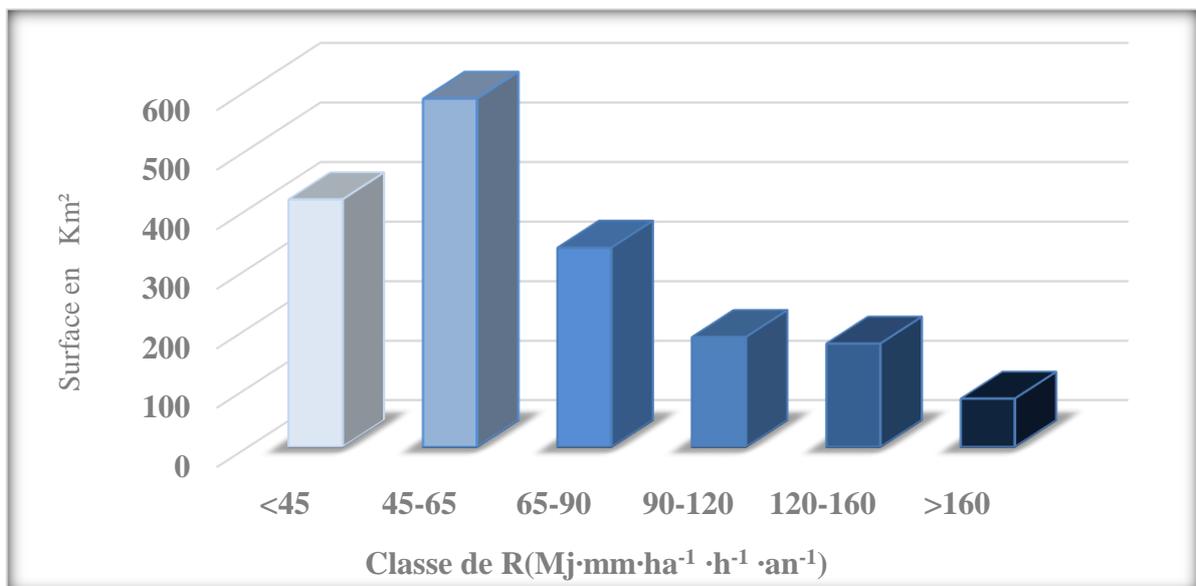


Figure 3.5. Distribution des classes du facteur R dans le bassin versant d'Oued Cherf

3.5.2. Facteur d'érodibilité du sol (K)

Pour déterminer le facteur K dans le bassin versant, l'échantillonnage a été effectué en surface des différentes formations pédologiques affleurant dans le bassin versant. En s'appuyant sur la carte pédologique de la région d'étude, nous avons prélevé plusieurs échantillons correspondant à plusieurs affleurements de la même classe du sol. Les valeurs obtenues ont été généralisées aux classes de même type. Nous avons attribué pour chaque classe de sol la moyenne des valeurs de K trouvée.

3.5.2.1. Détermination des caractéristiques physiques des sols

A partir de résultats d'analyses de sol, il fut possible de déterminer les pourcentages moyens d'argile, de limon, de sable et de matière organique de chaque type de sol (Tableau 3.7).

Tableau 3.7. Caractéristiques physiques des sols

Type de sol	% Argile	% Sable	% Limon	% MO
sols podzoliques(P)	55,2	21	23,8	3,86
Sols alluviaux (L)	70,4	10,3	19,3	0,51
Sols calcaires(Rc)	69,5	23,9	6,7	3,86
Sols calciques(Xk)	63,5	19,2	17,3	0,76
Sols de marais(Bh)	82,5	9,9	7,7	1,7
Sols salins(Rx)	48,7	29,9	21,6	0,64

3.5.2.2. Détermination de la texture des sols

A partir de ces informations et la base de données téléchargée du site Fao. Cette opération effectuée, il est alors possible d'obtenir le facteur K pour un sol en utilisant le tableau établissant la correspondance entre les textures standards et le facteur K (*Stone and Hillborn, 2002*). (Le tableau 3.8) synthétise les valeurs du facteur K pour chaque type de sol. La valeur zéro a été attribuée aux zones d'eau.

Tableau 3.8. Détermination du facteur K pour chaque type de sol de la zone d'étude

Textural Class	Spanish Texture Class	Soil composition			Mean K (based on % organic material)		
		Sand	Silt	Clay	unknown	< 2%	≥ 2%
Clay	Arcilloso	0-45	0-40	40-100	0.22	0.24	0.21
Sandy Clay	Arcilloso arenoso	45-65	0-20	35-55	0.2	0.2	0.2
Silty Clay	Arcilloso limoso	0-20	40-60	40-60	0.26	0.27	0.26
Sand	Arenoso	85-100	0-14	0-10	0.02	0.08	0.01
Sandy Loam	Franco arenoso	50-70	0-50	0-20	0.13	0.14	0.12
Clay Loam	Franco arcilloso	20-45	15-52	27-40	0.3	0.33	0.28
Loam	Franco	23-52	28-50	7-27	0.3	0.34	0.26
Loamy Sand	Franco arenoso	70-86	0-30	0-15	0.04	0.05	0.04
Sandy Clay Loam	Franco arenoso arcilloso	45-80	0-28	20-35	0.2	0.2	0.2
Silty Clay Loam	Franco limoso arcilloso	0-20	40-73	27-40	0.32	0.35	0.3
Silt	Limoso	0-20	85-100	0-12	0.38	0.41	0.37
Silty Loam	Franco limoso	20-50	74-88	0-27	0.38	0.41	0.37

Tableau 3.9. Détermination du facteur K pour chaque type de sol de la zone d'étude

Classification USDA	Type de sol	Facteur K (T.ha.h/ha.MJ.mm)	Surface Km ²
limon argileux sableux	Sols podzolique(P)	0,023	157,2
limon sableux	Sols alluviaux(L)	0,035	55,1
limon sableux	Sols calcaires(Rc)	0,065	382,6
limon sableux	Sols calciques(Xk)	0,050	1119,4
Sable	Sols de marais(Bh)	0,041	18,8
limon	Sols salins(Rx)	0,016	43,2

La carte pédologique et de répartition du facteur K montrent que les valeurs de l'érodibilité diffèrent selon le type de sol (Tab. 3.9). A l'échelle du bassin versant de l'Oued Cherf, le facteur K varie de 0.035 t.ha.h/ha.MJ.mm pour les sols les plus résistants à 0.05 t.ha.h/ha.MJ.mm pour les sols les plus érables (fig. 3.6). La figure qui suit présente la répartition de la superficie totale du bassin selon l'érodibilité des sols ainsi que les pourcentages correspondants.

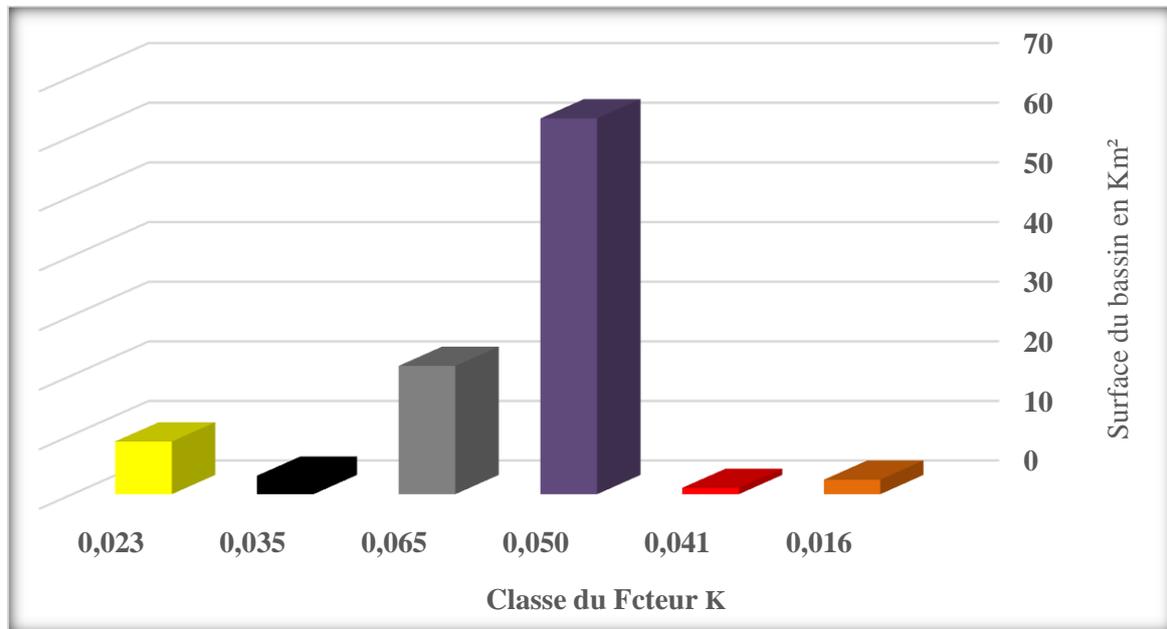


Figure 3.6. Distribution des classes du facteur k dans le bassin versant de l'Oued Cherf.

Selon la classification de la résistance des sols à l'érosion par *BOLLINNE et ROSSEAU (1978)* basée sur le facteur K (Tableau 3.9), Les sols de la zone d'étude sont considérés comme des sols moyennement sensibles à l'érosion avec une valeur $> 0,035$ t.ha.h/ha.MJ.mm. Le sol salins ont la plus faible érodibilité (0,016), alors que les sols les plus érables sont les sols calcaires (0.05) et calcique(0.065).

Tableau 3.9. Classification de la résistance des sols à l'érosion selon *Bollinne et Rosseau (1978)*

Type de sol	Facteur K (t.ha.h/ha.MJ.mm)	Surface Km²	Surface %
Sols très résistants à l'érosion.	$K < 0,01$	/	/
Sols assez résistants à l'érosion.	0,01 – 0,03	188	1776
Sols moyennement sensibles à l'érosion	0,03– 0,04	497	
Sols assez sensibles à l'érosion.	0,04 – 0,05	525	
Sols très sensibles à l'érosion.	$K > 0,05$	566	

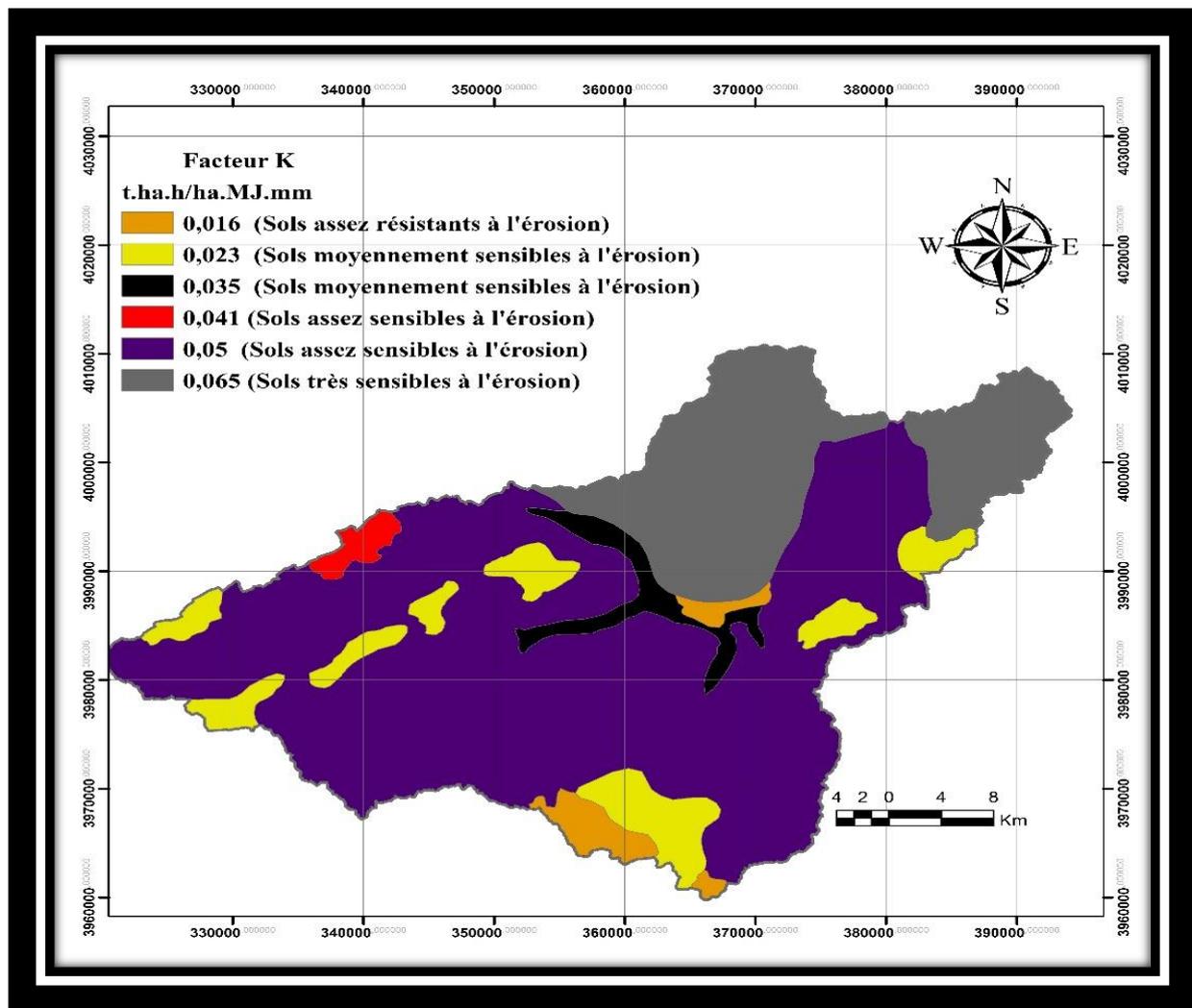


Figure 3.7. Répartition spatiale du facteur d'érodibilité du sol K en (t.ha.h/ha.MJ.mm).

3.5.3. Facteur topographique (LS) :

La morphologie du terrain est la source de données la plus riche concernant les processus d'érosion des sols. Pour prendre en compte ce paramètre, l'utilisation d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT) est indispensable pour pouvoir intégrer les formes des bassins versants (Guermond, 2005). Pour la zone d'étude, le facteur LS a été calculé à partir du MNT, ces données sont disponibles sur le web (<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>) et sont acquises par interférométrie radar en 2000, elles se présentent sous forme de raster (Geo TIFF Tagged Image Files Format) renseignant pour chaque pixel de 30 mètres l'altimétrie (Z).

A partir du MNT, il est possible d'obtenir la carte de degré de la pente, l'orientation et la longueur cumulative de la pente. La pente a une grande influence puisqu'elle fournit son énergie érosive à l'eau. Ce paramètre est certainement le plus important concernant les processus d'érosion, à cause de son action gravitaire et de son impact sur les matériaux détritiques (Dumas, 2004).

3.5.3.1 Calcul du facteur LS

Le facteur LS est le produit de deux sous facteurs : la longueur de la pente (L) et l'inclinaison de la pente (S). Ils sont calculés à partir du Modèle Numérique du Terrain (MNT). Il existe plusieurs façons de calculer le facteur LS, notamment en utilisant des approximations dans le SIG à partir de la carte d'accumulation des flux. Plusieurs étapes, utilisant les fonctions d'analyse spatiale en mode raster sous SIG, ont par la suite été menées.

- La première est la création d'un raster de direction des écoulements à partir de chaque cellule vers sa voisine de plus faible altitude.
- La détermination de la direction des flux du réseau hydrographique théorique permet ensuite de calculer la longueur de pente, tout d'abord pour une cellule et ensuite, pour toutes les cellules.
- La seconde étape consiste à calculer les pentes en degrés pour chaque cellule. En fonction de la pente, la valeur de l'exposant m varie (Tableau 3.2).
- La dernière étape consiste à croiser les calculs de L et S, le résultat final est ensuite divisé par 100.
- Enfin, on détermine le facteur LS.

L'organigramme de la figure 3.8 récapitule les étapes du calcul de facteur LS sous SIG.

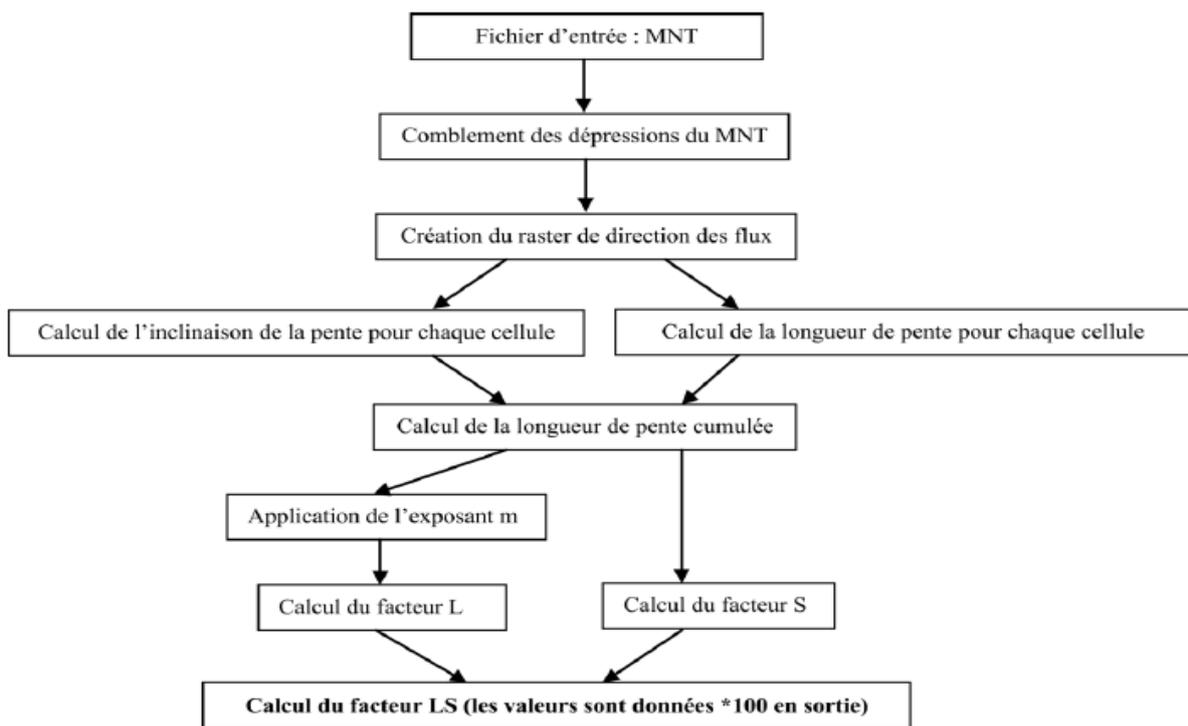


Figure 3.8. L'organigramme des étapes de calcul de LS (Van Remortel, 2003)

Le modèle RUSLE a donné des valeurs de LS variant entre 0 à 15.51 avec une moyenne de 3,5. Les zones à fortes de LS correspondent à la partie montagneuse de haute vallée et aussi aux pentes les plus abruptes des affluents de l'Oued Cherf, soumis à un grand risque d'érosion de l'aval vers l'amont. Les faibles valeurs $LS < 3$ (fig. 3.9) couvrent la partie centrale du bassin ainsi que le lit du cours d'eau, généralement situé dans les zones à faible altitude.

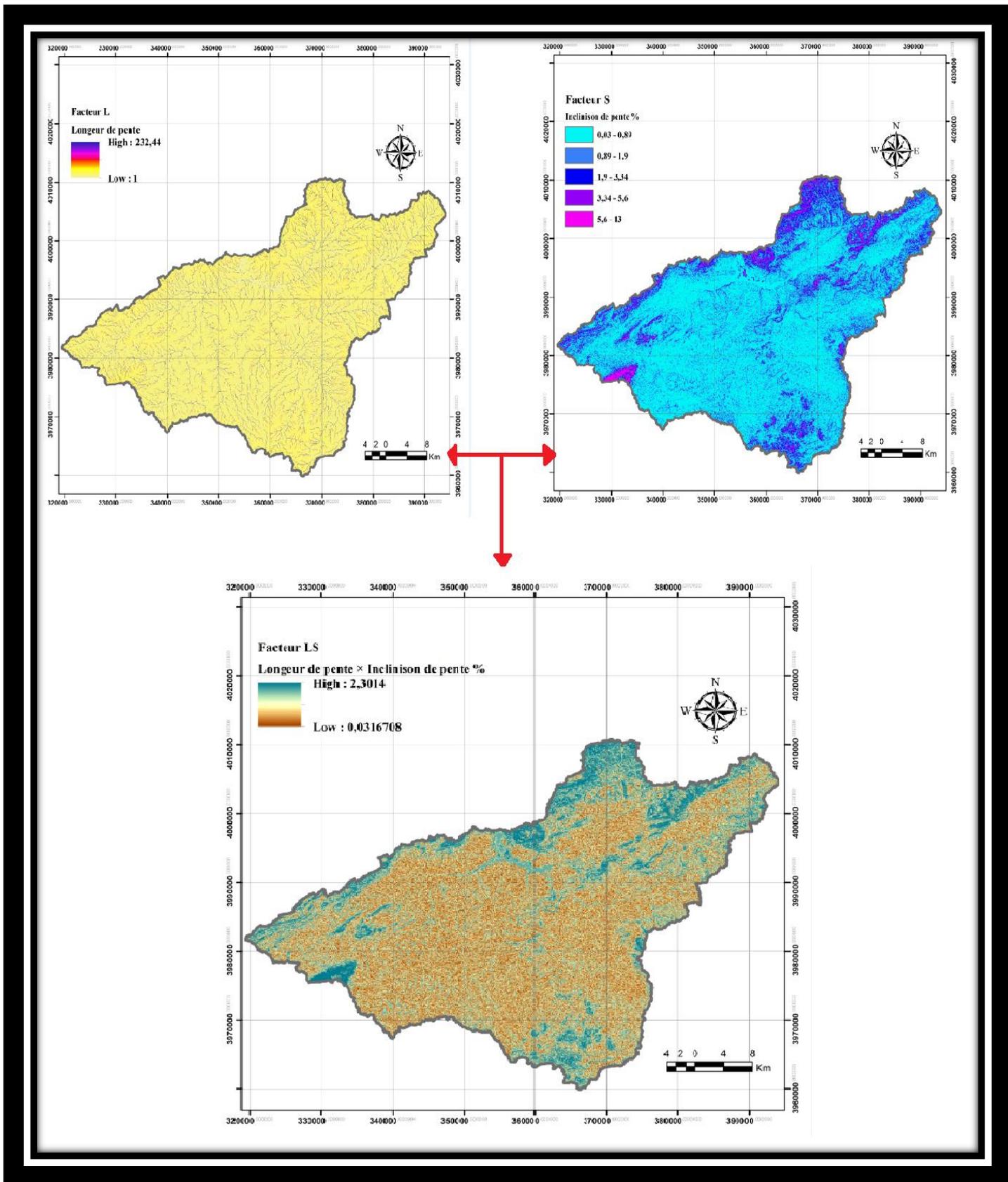


Figure 3.9. Carte du facteur LS obtenue par superposition de la carte des longueurs de pentes et celle de l'inclinaison des pentes par le SIG

3.5.4. Les valeurs du facteur de la couverture végétale (C)

L'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oued Cherf a été analysée en se basant sur l'interprétation d'image satellitaire Landsat-8 acquise en 2005, traitée et validée par des données de terrain (TAD CONSULT, 2005), La carte d'occupation des sols obtenue (fig.3.10) a été intégrée au système d'information géographique (SIG).

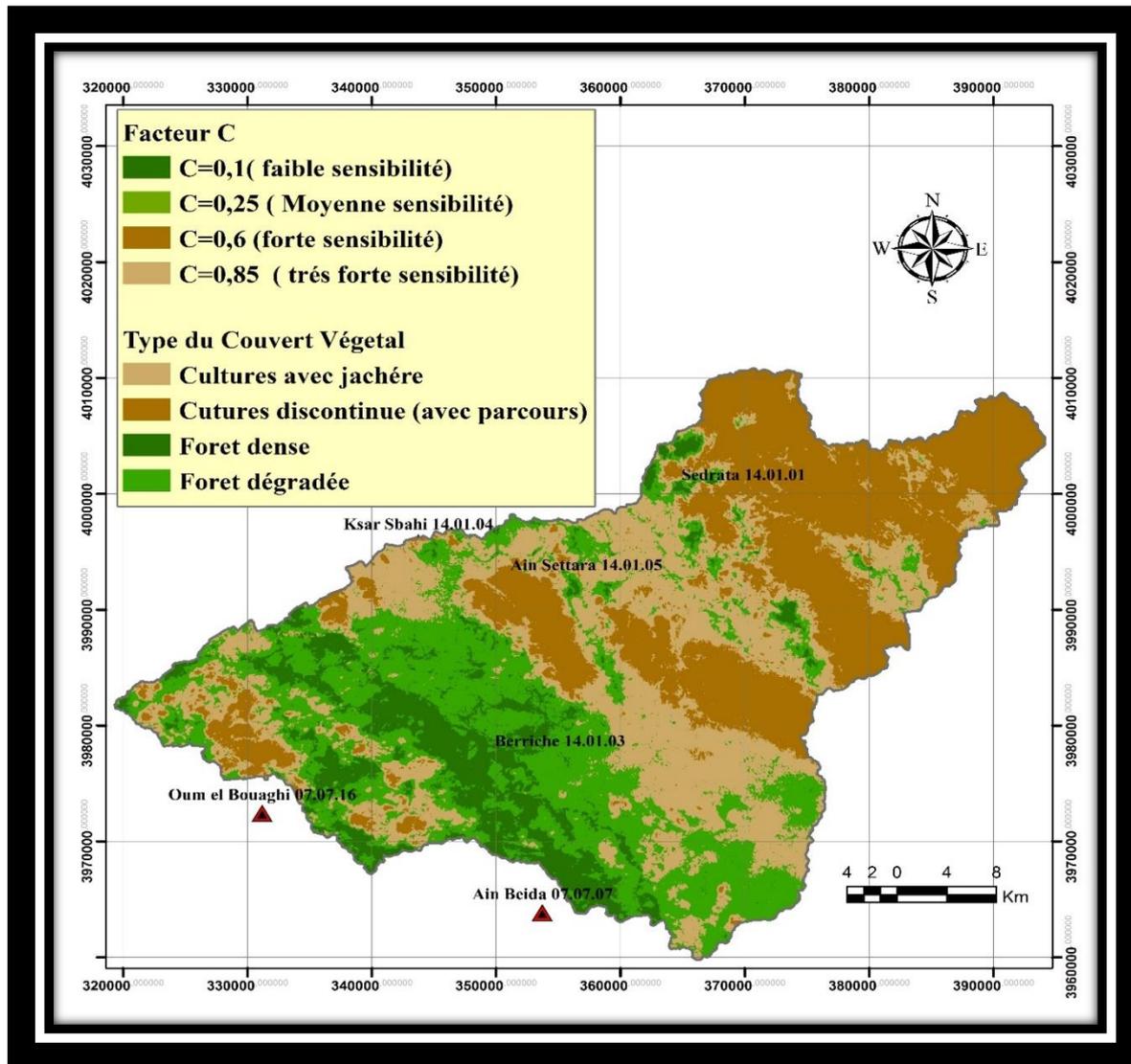


Figure 3.10. Carte de la classification de l'occupation du sol et le Facteur C et les répartitions de sensibilités pour chaque type d'occupation dans la région d'étude

La détermination du facteur C dépend de la couverture de la surface du sol par la végétation et de la hauteur des strates végétales. Dans la base de données qui lui a été affectée, on a introduit les valeurs du facteur C correspondant à chaque utilisation du sol que nous avons déterminé à partir des tableaux de Wischmeier et Smith (1978) et de Cormary et Masson (1963), il est compris entre 0 et 1 à chaque type de couverture végétale sur la zone d'étude. Le tableau (3.10) et la figure (3.10) montrent la distribution du couvert végétal et des valeurs du facteur C dans le bassin versant de l'Oued Cherf.

Tableau 3.10. Répartition des classes du facteur C dans le bassin versant de l'Oued Cherf .

Classe du Facteur C	Surface km ²	Surface %
<0.1	189	10,6
0.1-0.25	497	28,0
0.25-0.6	524	29,5
0.6-0.8	566	31,5

La répartition du facteur C (Tab 3.10) montre que la sensibilité des différents types d'occupation de sol vis-à-vis des processus érosifs, se situe entre 0.10 et 1. Les zones à forte végétation sont associées aux valeurs les plus faibles ($C < 0,1$), elles permettent une meilleure protection des sols et correspondent aux formations forestières où l'anthropisation est faible. Les valeurs les plus élevées ($C > 0,25$) correspondent à des sols présentant une plus grande sensibilité à l'érosion. 40 % de la superficie du bassin correspond à des sols relativement protégés alors que le reste, soit 60 % sont faiblement protégés.

3.5.5. La valeur du facteur de pratique anti-érosive (P)

Les pratiques les plus efficaces de conservation de sols sont les cultures en courbes de niveau, en bandes alternées ou en terrasses, les reboisements en banquettes, le buttage et le billonnage. Il varie entre 1 pour les terrains sur lesquels aucune des pratiques citées n'est utilisée, à 0.1 environ, lorsque sur une pente faible, on pratique le billonnage cloisonné (*Roose, 1996*). Dans la zone d'étude, il n'y a pas d'aménagements anti-érosifs, les agriculteurs n'utilisent pas de pratiques culturales anti-érosives, En effet, Les cultures sont surtout céréalières et les labours sont rarement parallèles aux courbes de niveaux. Faute de renseignement sur les pratiques de conservation du sol, nous avons attribué la valeur $P = 1$ à toute la superficie du bassin. De ce fait, on considère comme nulles les pratiques anti-érosives et ce facteur n'aura pas d'impact sur le produit final.

3.5.6. Evaluation des pertes en sol dans le bassin versant

A partir de différentes opérations d'analyse multicritères effectuées avec le SIG, nous avons établi et mis en relation les paramètres et facteurs qui interviennent dans le phénomène d'érosion dans notre zone d'étude. Il s'agit maintenant d'intégrer les résultats de ces analyses dans le modèle général et de quantifier les pertes en sol.

Le taux de l'érosion résulte de la combinaison des facteurs du modèle RUSLE, notamment l'agressivité climatique R (ou érosivité des précipitations), l'érodibilité des sols K et l'effet combiné du degré et de la longueur de la pente LS, la couverture végétale C et les pratiques

Antiérosives P. Sa détermination permet de connaître la répartition du risque érosif dû aux seuls effets des facteurs naturels. Le croisement des cartes des principaux facteurs de l'érosion hydrique des sols permet d'obtenir la carte des pertes en sols en tout point du bassin versant. Cette carte donnant la quantité de terre potentiellement érodable en t/ha/an. Les valeurs obtenues ont été regroupées en classes (fig 3.11).

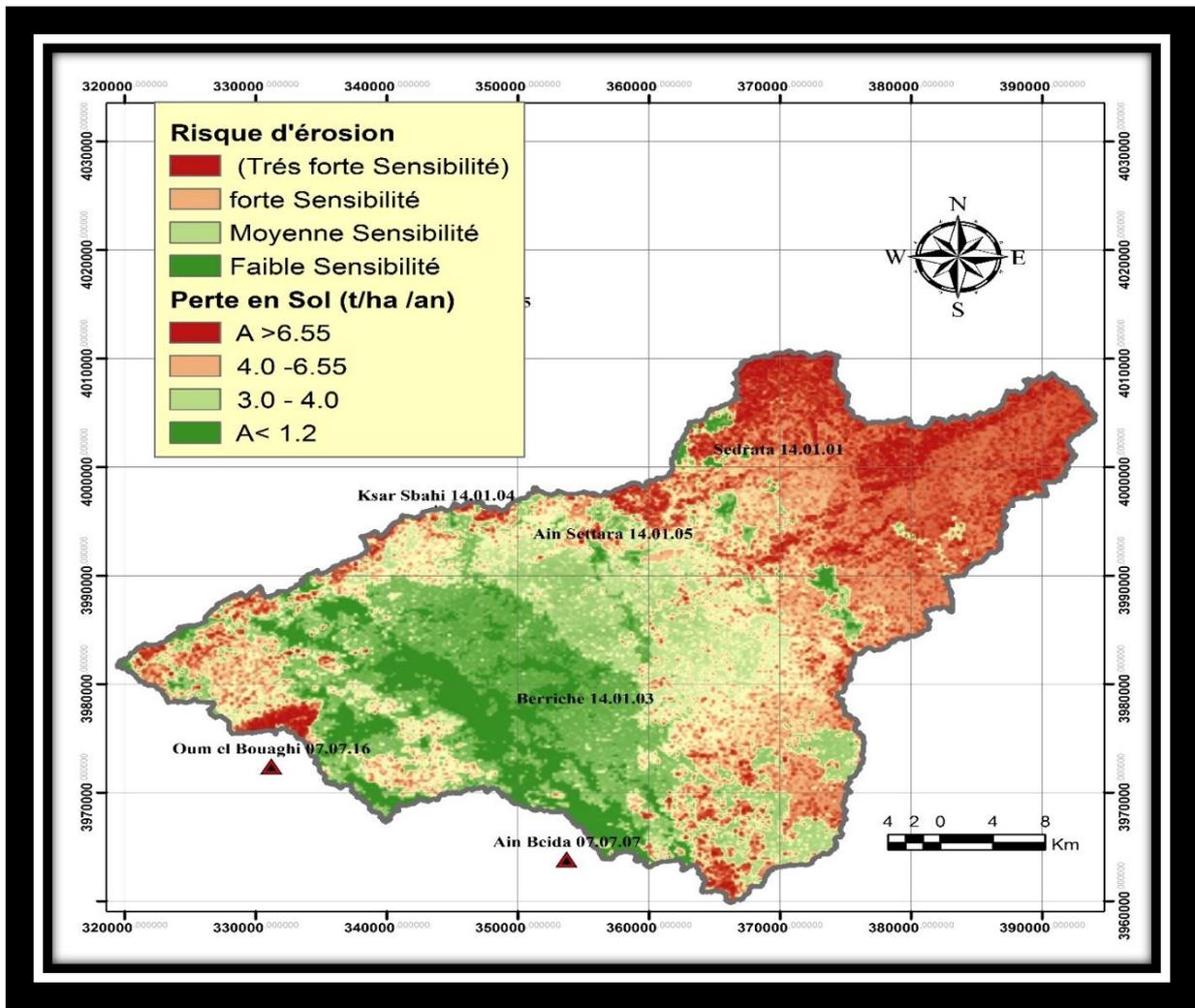


Figure 3.11. Carte des pertes en sols en (t.ha-1.an-1) du bassin versant de l’Oued Cherf.

La distribution spatiale de la perte de sols à l'échelle du bassin (Fig. 3.11) résulte de la combinaison des différentes couches thématiques des facteurs du modèle RUSLE traitées précédemment. Les pertes en sol varient entre 0 et 6,55 t/ha/an, avec une perte moyenne de 4.2 t/ha/an soit un total de 420 t/km²/an pour l'ensemble du bassin, ce qui est considéré comme une érosion relativement moyenne. Pour les besoins de lisibilité de la carte, les pertes de sol ont été regroupées en cinq classes selon le taux d'érosion : très faible, faible, modérée, élevée et très élevée selon le taux d'érosion (tableau 3.11).

Environ 40 % de la superficie du bassin versant de l’Oued Cherf est caractérisée par une érosion très faible à faible variant entre 0 et 1 t/ha/an, et se situe principalement dans les zones à faible pente et de couverture végétale dense, Les zones considérées à érosion moyenne (1 à 3 t/ha/an) occupent 30.48 % de la superficie du bassin. La classe à forte érosion (3 à 4 t/ha/an) occupe 22.59 % de la superficie totale et se localise principalement dans les terres agricoles où la pente est relativement forte. Enfin, les zones à très forte érosion ($A > 4$ t/ha/an) occupent seulement 06.89% de la superficie totale du bassin.

Tableau 3.11. Répartition des pertes des sols dans le bassin versant de l'Oued Cherf

Classe des Pertes en sols A(t/ha/an)	Superficie Km ²	Superficie %	Risque d'érosion
A>6.55	243.3	13.7	Très forte
6.55 - 4.0	506.2	28.5	Forte
4.0-1.2	594.96	33.5	Moyenne
A<1.2	431.57	24.3	Faible

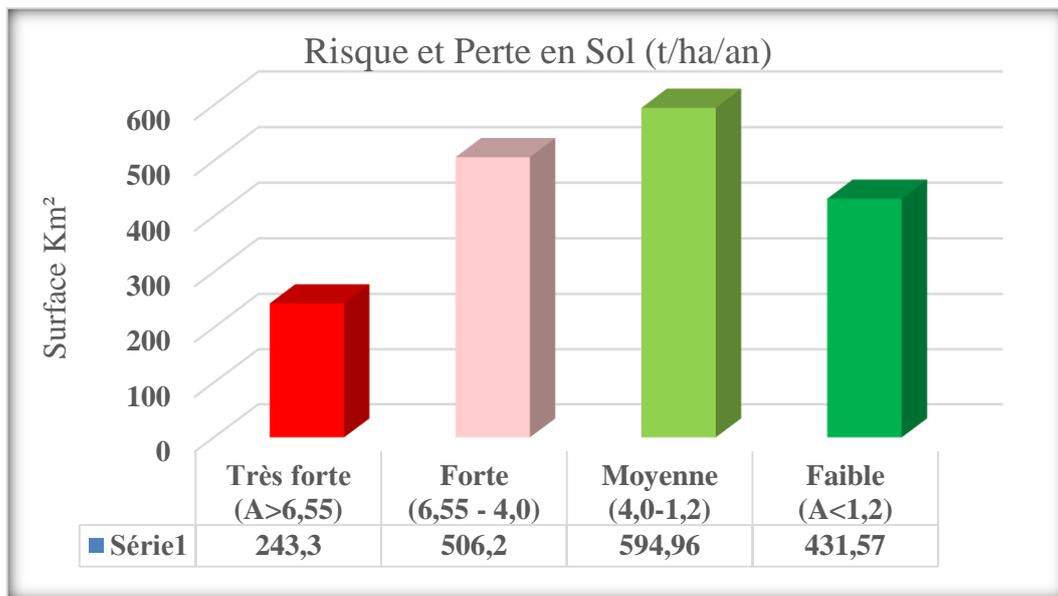


Figure 3.12. Distribution des pertes en sol par rapport à la superficie.

Les zones peu affectées par les pertes de sols sont associées aux zones basses du bassin versant, à faible pente ou présentant un couvert végétal dense, tandis que les valeurs fortes sont associées aux sols fragiles (ce qui peut nuire à la production agricole) ou aux zones à relief accidenté avec un couvert végétal dégradé.

3.5.7. Propositions d'aménagement :

Le principe consiste à protéger les terres contre l'érosion engendrées par les eaux de ruissellement du bassin versant de l'oued Cherf. Parmi les nombreuses solutions, nous citons les suivantes :

3.5.7.1. Correction des ravines :

D'une extrême urgence la correction des ravines dans le réseau hydrographique du bassin de l'Oued Cherf est essentielle dans le but de la stabilité du sol. Dépourvues de végétation, les ravines fonctionnent comme de vrais torrents en saisons pluvieuses. Leur lit se creuse davantage et d'importantes quantités de matériaux solides sont entraînées en aval. Ainsi, la stabilisation des lits de ces ravines doit tenir une place essentielle dans les travaux d'aménagement. Pour ce faire, de simples corrections biologiques pourront être appliquées pour les petites et moyennes ravines en implantant des espèces d'arbres appropriées. Pour les ravines assez développées, on doit modifier leur profil initial par des techniques mécaniques en vue de provoquer des atterrissements au moyen des seuils. Par

ailleurs, les travaux d'aménagement (mise en place des seuils en pierre sèche) doivent être entrepris durant les saisons sèches. Cela empêchera la détérioration des ouvrages et facilitera leur achèvement.

3.6.7.2. Aménagement De l'Oued :

Notre proposition concerne à réduire la vulnérabilité d'érosion hydrographique (sapement des berges de l'oued et ces affluents affectés par la vulnérabilité érosif) cet Aménagement a pour but de remanier l'oued en réalisant une canalisation de ce dernier ou l'existante du phénomène est importante, ses aménagements consiste au bétonnage des berges et il est souhaitable d'éviter le bétonnage du lit (pour avoir une capacité naturel d'autoépuration).



Figure 3.13. Aménagements du Cours d'eau

3.7. Conclusion :

Cette étude illustre l'application du modèle empirique d'érosion des sols RUSLE intégré au SIG pour estimer la distribution spatiale de l'érosion des sols dans le bassin versant de l'Oued cherf .afin d'identifier les zones critiques pour les mesures de contrôle de l'érosion. Les résultats indiquent que le bassin versant perd en moyenne 4.20 t.ha-1.an-1, cette valeur est relativement plausible en adéquation avec ceux donnés par interprétation des mesures bathymétriques effectuées dans le barrage Fum elkhanga.

La répartition spatiale des différentes classes de sévérité de l'érosion est de 24.3%% soit très faible, 28.5% faible, 33.5% modérée, 24.3% élevée. Plus de la moitié de la superficie du bassin versant représente des pertes de sol supérieures à 3 t.ha-1.an-1 résultant de l'interaction de plusieurs facteurs, principalement la prédominance de pentes abruptes et de sols très érodables combinée à la forte pression anthropique, de nature agricole qui réduit le couvert forestier au profit des cultures ainsi que l'absence de mesures et d'ouvrages de lutte contre l'érosion.

L'application du modèle RUSLE donne des résultats relativement fiables qui peuvent apporter une aide précieuse, pour cibler les zones qui nécessitent une action prioritaire de traitement anti-érosif en amont et limiter ainsi l'envasement du barrage et contribuer à la protection du milieu naturel. À long terme, les résultats peuvent être utilisés aussi pour suivre l'impact des systèmes de culture et des pratiques de conservation des sols sur le processus d'érosion dans le bassin versant.

Conclusion générale :

L'importance de l'érosion hydrique en Algérie s'est toujours traduite par un comblement rapide des retenues des barrages, diminuant ainsi considérablement leur capacité de stockage et par conséquent leur durée de vie. Il importe donc, non seulement de prévoir le rythme de comblement de la retenue de façon aussi précise que possible de manière à prendre les dispositions techniques nécessaires en termes de lutte contre l'envasement rapide des barrages.

L'approche par SIG a été utilisée avec succès pour déterminer les facteurs d'érosion des sols. Cette approche effectuée dans le bassin versant l'Oued Cherf (combinant traitement de l'occupation des terres, données pédologiques et climatologiques), a permis d'identifier et de cartographier les surfaces des terres nécessitant la plus grande priorité d'intervention pour la protection du patrimoine sol afin de réduire les apports solides au niveau de la retenue du barrage Fum elkhanga.

L'estimation du facteur érosivité des pluies (R) est basée sur une relation approximée basée sur les précipitations annuelles. Le facteur érodibilité du sol (K) est estimé à partir de la texture du sol. Pour le facteur topographique (LS), l'angle de pente a été déterminé par un MNT avec une résolution de 30 mètres, qui est acceptable à l'échelle du bassin versant. Le facteur de la couverture végétale C a été estimé à partir de la carte d'occupation des sols, ce dernier peut être influencé par les effets atmosphériques, ce qui peut fausser son estimation.

Il faut souligner que les résultats des analyses spatiales présentées dans cette étude possèdent des limites et des défauts. Tout d'abord, l'équation universelle de perte en sol dans la version révisée (RUSLE) donne une estimation de la perte en sol attendue sur le long terme. Elle prédit seulement l'érosion en nappe et en rigoles ; le ravinement n'est pas pris en compte et les dépôts ne sont pas inclus, seule l'érosion grossière est prédite. A cela s'ajoute aussi les incertitudes associées aux différentes sources de données et les modèles utilisés pour la détermination de différents facteurs.

Les résultats obtenus au terme de ce travail selon le modèle RUSLE, confirment une dégradation de sol importante sur le bassin versant de l'Oued Cherf durant la période 2004-2014, découlant d'un taux d'érosion moyen de 420 t/km²/an, cette valeur est relativement plausible et en adéquation avec celles données par les mesures bathymétriques effectuées dans le barrage Fum elkhanga.

Environ 40 % de la surface totale du bassin versant de l'Oued Cherf à une sensibilité faible à très faible à l'érosion, tandis que 60 % présente une sensibilité à l'érosion moyenne à très forte. Leur vulnérabilité détermine le niveau d'exploration du phénomène érosif au niveau du bassin, soumis pour l'essentiel, à une forte pression anthropique, à caractère agricole, qui provoque la réduction du couvert forestier au profit des cultures.

Bien que la validité des pertes en sols de RUSLE soit sujette à discussion, la méthode apporte une aide importante aménagements de la région et planifier les interventions de lutte contre l'érosion. Ainsi peut-elle par exemple permettre de suivre l'impact de l'utilisation des sols et des aménagements.

Références bibliographiques

- Abdellatif, B-A, Frederic Baillot, K Menoueri et al 2006.** Document de «la faim de l'eau» la boue dans les Barrages, Le magazine des journalistes scientifiques. Université Saad Dahleb de Blida.
- Abdelli, M., Zeggane, M., 2007,** Problématique et enjeu de l'envasement. L'expression. Du 05 Septembre 2007.
- Achite, M. et Meddi M, 2005.** Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi aride. Cas du bassin de l'oued Mina (nord ouest Algérien Rev. Sci. Eau. 18 (spécial), pp 37-56.
- Achite, M., et al, 2006.** Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, Conséquences & Perspectives. 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco, May 14-19, 2006 (ISCO 2006).
- Achite, M., Toubal, A. K., Bettahar, N., & Ballah, A., 2014.** Evaluation de l'envasement du barrage Sidi M'hamed Benaouda dans le bassin versant de la Mina par l'application du modèle PISA.
- Albergel, J., Pepin, Y., Boufaroua, M., Nasri, S., 2001.** Erosion et transport solide dans des petits bassins versants méditerranéens. *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions* (Proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003). IAHS Publ. no. 278, 2003, pp. 373-379.
- Albergel, J., Nasri, N., Boufaroua, M. & Pepin, Y., 2003.** Erosion et transport solide dans des petits bassins versants méditerranéens. *Hydrology of the Mediterranean and Semiarid Regions* (Proceedings of an international symposium held at Montpellier, April 2003). IAHS Publ. no. 278, 2003, pp 273-379.
- Ammari, A., 2012.** Vulnérabilité à l'Envasement des Barrages (cas du bassin Hydrographique des Côtiers Algérois) (Doctoral dissertation, Thèse Doctorat en Hydraulique. Univ Biskra).
- Angima, S.D., Stott, D.E., O'Neill, M.K., Ong, C.K. et Weesies, G.A., 2003.** Soil erosion prediction using RUSLE for central Kenyan highland conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97, pp.295-308.
- ANBT, 2016.** (Agence nationale des barrages et transferts). Erosion et envasement des barrages réservoirs.. Exposé établi par Mr. Manser Amour, consulté le 01/09/2016.
<http://docplayer.fr/1600124-Erosion-et-envasement-des-barrages-reservoirs.html>.
- Arnoldus, H. M. J., 1980.** An Approximation of the Rainfall Factor in the Universal Soil Loss Equation. In: De Boodt, M. and Gabriels, D., Eds., Assessment of Erosion. FAO Land and Water Development Division, Wiley & Sons, Chichester, 127-132.
- Auzet, A.V., 1987.** L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture. Aspect

agronomiques. Ministère de l'Environnement, Ministère de l'Agriculture, CEREG-URA 95, CNRS, 60 p.

Baldassarre, G., Bazzoffi, P., 1998. Conservation of surface water resources in the Mediterranean basin. A new simplified model pour l'estimation du transport solide à l'échelle d'un bassin versant au Maghreb: cas du bassin versant de l'oued K'sob, Algérie , 4ème colloque international sur les ressources en eau, CIRDD4, Blida, Algérie.

Baldassarre, G., Bazzoffi, P., Palumbo, N., 2001. Determining soil erosion by direct surveys and prediction models for assessment of reservoir sedimentation - case study from Italy. In: 3rd international conference on land degradation. Embrapa Solos, Doc. N_ 40, 170–173. Rio de Janeiro.

Bazzoffi, P., 1987. Previsione dell'interrimento nei serbatoi artificiali italiani, modello P.I.S.A. *Idrotecnica* (1):15–18.

Bazzoffi, P., Baldassarre, G., Vacca, S., 1996. Validation of PISA2 Model for automatic assessment of reservoir sedimentation. In: Albertson M (ed) Proceedings of the international conference on reservoir sedimentation. Colorado State University, Fort Collins, pp 519–528.

Bazzoffi, P., Baldassarre, G., Pellegrini, S., Bassignana, A., 1997. Models prediction of water storage decrease in Italian reservoirs. *Collection Environnement de l'Université de Montréal, Horssérie, Num 9:249–252.*

Bazzoffi, P., Baldassarre, G., Pellegrini, S., Radina, B., 1998. Neural model for assessing basin sediment yield and reservoir sedimentation. 8th Int IAEG Congress, vol IV. Balkema, Rotterdam, pp 2717–2724.

Bazzoffi, P., Baldassarre, G., 2000. Effect of agricultural land use changes on sediment yield and reservoir sedimentation: application of an indicator of off-farm sediment flow. In: *Water conf and exp „„Guarding the Global Resource““*. Auckland, New Zealand, pp 110–121. ISBN: 1-877134-30-9.

Bazzoffi, P., Van Rompaey, A., 2003. PISA model to assess off-farm sediment flow indicator at watershed scale in Italy. OECD expert meeting „„Soil Erosion And Soil Biodiversity Indicators““ 25–28 March, 2003, Rome, Italy.

Benaïcha, A.C., 2011. Etude des processus des transports solides et leur impact sur l'alluvionnement des barrages. *Mémoire de Magister en Hydraulique, Université Hadj Lakhdar Batna.*

Benkhalel A., Remini B., 2003, Analyse de la relation puissance : débit solide – débit liquide du bassin versant de l'Oued Wahrane (Algérie). *Revue des sciences de l'eau.* 16/3 : 333-356.

Benkhadja, R., Hattab, A., Mahdaoui, N., Zehar, C. 2012. Assessment of soil losses and siltation of the K'sob hydrological system (semiarid area-East Algeria). *Arabian Journal of Geoscience.* 10 p.