



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Université Abbes Laghrou Khenchela
Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département d'écologie et environnement



Mémoire Master Académique

Domaine : Sciences de la nature et de la vie
Filière : Ecologie et environnement
Spécialité : Ecologie fondamentale et appliquée

Thème

**Cartographie qualitative de la sensibilité du sol à
l'érosion hydrique :
Cas du bassin versant de Gareat El Tarf (NE Algérie)**

Présenté et soutenu par :

Boukehil Abderaouf

Segueni Imed

Reddah Dawoud

Devant les membres du jury

Président : Aouidane Laiche

MCA Université Abess Laghrou-Khenchela

Encadrant : Boulabeiz Mahrez

MCA Université Abess Laghrou-Khenchela

Examineur : Daif Allah Tarek

MCA Université Abess Laghrou-Khenchela

2021/2022

Remerciements

Tout d'abord nous remercions Dieu de nous avoir donné la santé, la volonté, le courage et la patience pour mener à terme nos formations et pourvoir réaliser le travail

Nos remerciements aussi pour toute personne à contribué dans ce travail spécialement :

Mr Boulabiez pour ces efforts et sa patience et ses conseils durant toute la période d'encadrement

Et les membres du jury Mr Daif Allah Tarek et Mr Aouidane Laiche d'avoir accepter d'être jury pour nous dans ce jour spécial.





Dédicace

Je dédie ce modeste travail À Dieu source de toute connaissance

*A ma mère et mon père A ma sœur
Asma et mes frères Djallel et Billel et toute la
famille Boukehil*

*Et A une très chère personne loin de moi et A
Meriem au Tunisie.*

*Je dédie ce travail à ma mère et mon père ainsi
que mes amis Hakou, Bob et Nadhir et toute la
famille Segueni spécialement Hana.*

*Je dédie ce travail a mes parents, mes frères
Abdelbasset, Abdelhafidh et Okba et ma sœur
Bouthaina et mes amis Oussama, Sabri, Fares et
Adel et toute la famille Reddah.*

Résumé

L'érosion hydrique est un grave problème qui menace de plus en plus les sols du nord de l'Algérie en particulier en zone semi-aride. L'objectif principal de ce travail est d'appliquer un modèle multicritère de somme pondérée à la cartographie de la sensibilité à l'érosion hydrique des sols du bassin versant de Garaet El Tarf (Nord est Algérien) couplé dans le système d'information géographique (SIG).

Quatre couches de facteurs de modélisation des données responsables à la sensibilité des sols à l'érosion ont été combinées : précipitations, topographie, lithologie et couvert végétal.

La carte de sensibilité à l'érosion hydrique obtenue a permis de distinguer les zones les plus menacées par l'érosion, 32,5% de la superficie totale s'est avérée très sensible à l'érosion hydrique, 56,9% de la surface totale est modérément sensible alors que 10,5% de la surface totale est faiblement sensible à l'érosion hydrique. Le modèle proposé représente un outil solide sur lequel les décideurs locaux peuvent s'appuyer pour définir des zones de protection prioritaires.

Mots clés : L'érosion hydrique, Modélisation, sensibilité, somme pondéré, SIG, Garaet El Tarf.

ملخص :

يمثل الانجراف المائي مشكلة خطيرة تهدد بشكل متزايد التربة في منطقة شمال الجزائر ، لا سيما في المنطقة الشبه قاحلة. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو تطبيق نموذج مرجح متعدد المعايير لرسم خرائط التعرض للانجراف المائي للتربة في مستجمعات المياه في قرعة الطارف (شمال شرق الجزائر) باستعمال نظام المعلومات الجغرافية (SIG) أربع طبقات تم الجمع بينها لكونها تترجم كنماذج للبيانات المسؤولة عن مدى تعرض التربة للتآكل: هطول الأمطار ، والتضاريس ، والغطاء الصخري والغطاء النباتي.

مكنت الخريطة التي تبين مدى التعرض للانجراف المائي التي تم الحصول عليها عن طريق ملاحظة واستنتاج المناطق الأكثر عرضة للانجراف حيث تبين أن 32.5% من المساحة الكلية كانت شديدة التأثر بالانجراف المائي و 56.9% من السطح الكلي معرضة إلى حد ما بينما 10.5% من السطح الكلي معرضة بشكل ضعيف لانجراف التربة. يمثل النموذج المقترح وسيلة فعالة يمكن للسلطات المحلية الاعتماد عليها لتحديد المناطق التي لها أولوية الحماية.

الكلمات المفتاحية: الانجراف المائي، نماذج ، مدى التعرض ، المجموع المرجح ، SIG ، قرعة الطارف.

Abstract

Water erosion is a serious problem that increasingly threatens the soil in northern Algeria, especially in the semi-arid region." The main objective of this work is to apply a multi-criteria weighted model for the sensitivity mapping of soil water erosion sensitivity in the El Tarf watershed (north-east Algeria) using the Geographic Information System (SIG),

Four layers that have been combined as data modeling factors responsible for the sensitivity of soil erosion: rainfall, topography, lithography and vegetation .

The map of sensibility of water erosion obtained made it possible to identify the areas most at risk of erosion, where 32.5% of the total area was highly susceptible to water erosion, 56.9% of the total surface was fairly sensitive, and 10.5% of the total surface was poorly sensitive to water erosion.

The proposed model is a powerful tool that local decision makers can rely on to identify priority protection areas.

Keywords: Water erosion, Modeling, sensitivity, weighted total, sig, El Tarf watershed.

Liste des abréviations

Ha : hectares

g/L : Grammes Par Litres

Kg/m³ : Kilogrammes par mètre cube

t/ha : Tonnes par hectares

m³/ha : mètres cube par hectare

m : mètres

mm : millimètres

m³ : mètre cube

°C : Degrés Celsius

° : Degré

N : Nord

S : Sud

NE : Nord Est

SE : Sud Est

NO : Nord Ouest

SO : Sud Ouest

NW : Nord Ouest

SW : Sud Ouest

Dj : Djebel

SIG : Systèmes d'Information Géographique

(I-D-F) : Intensités-Durées-Fréquences

USI : Unités Spatiales Intégration

DEM : Modèle Numérique d'élévation

Hab : Habitant

Km² : Kilomètre carrée

Fig : Figure

Liste des tableaux

Tableau 01 : Tranches d'altitudes et superficies (Dib 2018)	13
Tableau 02 : Distribution de la population au niveau du bassin de Gareat El Taref (https://www.city-facts.com/)(statistiques2015).....	16
Tableau 03 : Dénombrement des oiseaux d'eau entre 1971 et 2004 (https://rsis.ramsar.org).....	17
Tableau 04 : Hiérarchisation des pentes selon leur déclivité (Roose 1977)	36
Tableau 05 : Hiérarchisation d'occupation du sol selon leur degré de protection (Roose 1977).....	37
Tableau 06 : Hiérarchisation des hauteurs de la précipitation en mm.....	39
Tableau 07 : Hiérarchisation des sols selon leur lithologie.....	42

Liste des Figures

Figure 01 : Érosion en nappe.....	04
Figure02 : Érosion en rigoles (Ministère de l’agriculture, de l’alimentation et des affaires rurales Ontario-Canada).....	04
Figure 03 : Érosion en ravines (agri réseau).....	05
Figure 04 : Les grands bassins versant en Algérie (Source: Auteurs).....	11
Figure 05 : Vue sur la zone humide Gareat El Tarf (Oct. 2020) prise par Boukehil Abderaouf.....	12
Figure 06 : Carte de situation géographique de bassin versant de Gareat El Tarf (Source: Auteurs).....	12
Figure 07 : Carte de réseau hydrographique de bassin versant de Gareat El Tarf (Source: Auteurs).....	14
Figure 08 : Carte de relief de bassin versant de Gareat El Tarf (Source: Auteurs).....	15
Figure 09 : Carte de géologie de bassin versant de Gareat El Tarf. (Source: Auteurs).....	24
Figure 10 : précipitations de la wilaya d’Oum El Bouaghi (1991-2020) (infoclimat.fr).....	27
Figure 11 : températures de la wilaya d’Oum El Bouaghi (1991-2020) (Source : infoclimat.fr).....	28
Figure 12 : Données climatiques de la wilaya de Khenchela (1991-2020) (source:climateknowledgeportal.worldbank).....	29
Figure 13 : le type de climat de la zone d’étude selon le climagramme d’emberger.....	31
Figure 14 : Méthodologie de la cartographie de sensibilité des sols a l’érosion hydrique.....	34
Figure 15 : Carte des pentes de la zone d’étude bassin versant de Garaet El Tarf (SRTM 30m).....	35
Figure 16 : Carte d’occupation de sol de la zone d’étude bassin versant de Garaet El Tarf (Sentinel 2A).....	37
Figure 17 : Carte des précipitations de la zone d’étude bassin versant de Garaet El Tarf (Données climatique).....	39
Figure18 : Carte de la lithostratigraphie de la zone d’étude bassin versant de Garaet El Tarf (Carte géologique).....	40
Figure 19 : Combinaison des paramètres.....	42

Figure 20: Carte de vulnérabilité de la zone d'étude bassin versant de Garaet El Tarf.....	42
Figure 21: Degré de sensibilité en %.....	43

Sommaire

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Chapitre 1 : Recherche Bibliographique

1-Introduction.....	03
2-L'érosion	03
2-1-Définition.....	03
2-2-Les formes de l'érosion hydrique	03
2-2-1- L'érosion en nappe ou aréolaire	03
2-2-2-Érosion par rigoles.....	04
2-2-3-Érosion par ravines.....	05
2-3-Les causes de l'érosion hydrique.....	05
2-4- Les conséquences de l'érosion hydrique.....	06
2-4-1-La perte des terres arables et la diminution de la fertilité des sols.....	06
2-4-2-La dégradation des infrastructures.....	06
2-4-3-Les conséquences sur l'agriculture.....	06
3-Méthodes utilisés dans l'étude de l'érosion hydrique.....	06
3-1- Utilisation de l'imagerie satellitale.....	06
3-2- La méthode PAP/CAR.....	07
3-3- Méthode « Universal SoilLoss Equation » (Wischmeier et Smith).....	07
3-4-Cartographie de l'aléa « érosion des sols » (Batti).....	08
4-Perte de carbone par érosion hydrique dans les zones arides : implications d'une étude sur le changement de végétation dans le sud-ouest des États-Unis.....	09
5-L'érosionhydrique en Algérie.....	09

6-L'érosion hydrique dans les massifs des Aurès.....	10
7-Conclusion.....	10

Chapitre 2: Cadre de l'étude

1-Introduction.....	11
2-La zone d'étude.....	11
2-1 Situation géographique.....	11
2-2 Hydrographie.....	13
2-3 Climat.....	14
2-4 Le relief.....	14
2-5 Cadre démographique.....	15
2-6 Aperçu sur la faune et la flore.....	16
2-7 Valeurs sociales et culturelles.....	17
3- Cadre géologique.....	18
3-1-Lithostratigraphie du bassin de Gareat El Tarf.....	18
3-2-Trias.....	18
3-3- Crétacé.....	18
4-Conclusion.....	25

Chapitre 3 : Etude climatique

1-Introduction.....	26
2-Cadre climatique de la zone d'étude.....	26
2-1 Station d'Oum El Bouaghi.....	26
2-1-1 Pluviométrie.....	26
2-1-2 Température.....	28
2-2 Station de Khenchela.....	29

2-2-1-Pluviométrie et température.....	29
3-Type de climat.....	30
3-1-Climagramme d'EMBERGER.....	30
4- Conclusion.....	31

Chapitre 4: Cartographie et approches méthodologique des principaux facteurs de l'érosion hydrique

1-Introduction.....	32
2-Approche méthodologique.....	32
3-3- Résultats et discussion	35
3-1 La pente.....	35
3-2 Occupation du sol.....	36
3-3 L'érosivité des pluies	38
3-4 La lithostratigraphie.....	40
4-Carte de vulnérabilité.....	41
5- Conclusion.....	44
Conclusion Générale.....	45

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Toute la vie terrestre dépend d'une fine couche de sol. Le premier mètre de la surface de la Terre alimente plus de six milliards de personnes, ainsi qu'un nombre immesurable d'insectes, de reptiles, d'oiseaux et d'animaux. Même une grande partie de la vie marine dépend des éléments érodés ou dissous des continents et transportés dans les milieux aquatiques. Depuis quelques décennies, des pressions économiques et démographiques ont conduit à une dégradation rapide et massive des sols exploités à travers le monde.

L'érosion a été définie de plusieurs façons selon les auteurs. On distingue deux catégories de définitions. Une, au sens strict, considère l'érosion comme étant le mécanisme de détachement des particules sédimentaires et des autres matériaux à la surface du sol (Fleming, 1977). Une autre, au sens large, fait appel à une trilogie pour définir l'érosion (Derrau, 1974, Briot, 1981) :

- processus d'arrachement (désagrégation et altération des roches, creusement de la surface du sol).
- transport de ces débris (sur les versants, dans les cours d'eau).
- dépôt de ces matériaux transportés (dans les cônes de déjection, lits des cours d'eau, vallées d'inondation, lacs et réservoirs).

En Algérie L'érosion hydrique reste un problème majeur Septentrionale dont le principal facteur est le ruissellement dont la répartition spatiale est contrôlée par celles des précipitations, des caractéristiques géologiques et bio physiographiques (topographie, couvert végétal,...). L'érosion se manifeste principalement sur les sols en pente et constitue une des principales causes de dégradation des sols dans les massifs montagneux en zones semi arides. Elle s'est accélérée suite aux défrichements des forêts et maquis qui protégeaient les sols sensibles (Latreche 2014).

L'intensité de l'érosion hydrique varie d'une zone à l'autre. La partie Ouest du pays est la plus érodée, où l'érosion touche 47 % de l'ensemble des terres; suivie du Centre (27%) et de l'Est (26%). L'érosion spécifique varie de 2000 et 4000 t/km.an et le taux d'envasement est supérieur à 15 %. L'Algérie est, de ce fait l'un des pays les plus menacés dans le monde par l'érosion (Khalladi et al. 2011).

Les sols des zones arides et semi-arides sont soumis aux effets de l'érosion hydrique à des degrés divers. Dans cette étude le principal objectif est de comprendre et évaluer la sensibilité des sols au phénomène de l'érosion hydrique dans le bassin versant de Gareat El Tarf, à travers l'utilisation de méthodes multicritère combinée dans système d'information géographique (SIG) à travers la création de cartes thématiques pondéré selon leur degré d'importance pour enfin obtenir une carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique.

Ce travail se divise en quatre chapitres : premier chapitre : La revue de littérature qui explique le phénomène d'érosion ainsi les méthodes d'aide à l'évaluation de sensibilité à l'érosion.

Deuxième chapitre : Dans ce chapitre sont présentés la description géographique, physique hydrographiques, et les formations superficielles des sols et du couvert végétal.

Troisième chapitre : dans ce chapitre sera abordé le climat général de la région d'étude.

Quatrième chapitre : présenteront la méthodologie suivie pour ce travail de recherche, les résultats et ainsi que les discussions. Et ce termine par une conclusion générale et recommandations

CHAPITRE I :
RECHERCHE
BIBLIOGRAPHIQUE

1-Introduction :

L'érosion hydrique est une menace dynamique pour les sols avec des attributs physiques et socio-économiques. Une modélisation efficace de l'érosion hydrique peut fournir des informations cruciales sur les schémas et les tendances de l'érosion et, en outre, permettre une analyse de scénarios en relation avec les utilisations actuelles ou potentielles des terres (Millington 1986). Cependant, l'évaluation de l'érosion hydrique est une entreprise difficile car elle est le résultat de nombreux processus s'influençant les uns les autres dans des interactions complexes et se déroule à des rythmes qui varient dans l'espace et dans le temps (Driesen 1986, Kinnel 2005). Depuis les années 1930, les pédologues et les décideurs ont développé et utilisé abondamment des modèles afin de calculer la perte de sol d'un champ, d'un versant ou d'un bassin versant (Wischmeier et Smith 1978).

2-L'érosion :

2-1-Définition :

L'érosion hydrique est composée d'un ensemble de processus complexes et interdépendants qui provoquent le détachement et le transport des particules de sol.

Elle se définit comme la perte de sol due à l'eau qui arrache et transporte la terre vers un lieu de dépôt.

2-2-Les formes de l'érosion hydrique :

Il existe trois formes de l'érosion hydrique qui sont :

2-2-1- L'érosion en nappe ou aréolaire :

C'est le stade initial de la dégradation des sols par érosion. Cette érosion en nappe entraîne la dégradation du sol sur l'ensemble de sa surface, autrement dit c'est une forme d'érosion diffuse. De ce fait, elle est peu visible d'une année à l'autre. Le signe le plus connu de l'érosion en nappe est donc la présence de plages de couleur claire aux endroits les plus décapés. Également, il y a un autre symptôme de l'érosion en nappe est la remontée des cailloux en surface par les outils de travail du sol.



Figure 01 : Érosion en nappe

2-2-2-Érosion par rigoles :

Une érosion par rigoles se produit lorsque l'érosion superficielle n'est pas maîtrisée sur un terrain en pente, l'eau de ruissellement creuse alors les couches arables, et de petits canaux ou rigoles se forment.



Figure 02 : Érosion en rigoles (Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales Ontario-Canada)

2-2-3-Érosion par ravines :

Une érosion par ravines se manifeste quand le ruissellement est intense et que l'érosion en rigoles n'est pas maîtrisée, des courants plus importants transportant un mélange eau-sol peuvent donc creuser des ravines de plus en plus profondes. Plus la pente du terrain est forte, plus rapidement se développeront de telles ravines.



Figure 03 : Érosion en ravines (agri réseau)

2-3-Les causes de l'érosion hydrique :

Les caractéristiques physiques du sol, de la vulnérabilité de ce sol à l'érosion. L'érodibilité est surtout influencée par la texture du sol, mais elle l'est également par sa structure, sa teneur en matière organique et sa perméabilité. En général, les sols qui affichent une plus grande résistance à l'érosion sont ceux dans lesquels l'eau s'infiltré plus rapidement, ceux qui sont riches en matière organique et ceux dont la structure est améliorée. Les sables, ont tendance à être moins vulnérables à l'érosion que les limons, les sables très fins et certains sols argileux.

La Pente: Plus la pente d'un champ est raide et plus cette pente est longue, plus les risques d'érosion sont grands. Le couvert végétal : Le risque d'érosion augmente si le sol n'est pas suffisamment protégé par le couvert végétal, la végétation protège le sol de l'impact des gouttes de pluie et elle a tendance à réduire la vitesse d'écoulement de l'eau et à favoriser l'infiltration de l'eau dans le sol.

2-4- Les conséquences de l'érosion hydrique :

2-4-1-La perte des terres arables et la diminution de la fertilité des sols :

Suite à l'extension des différentes formes d'érosion, de grandes surfaces de terres arables disparaissent d'une année à une autre. La diminution de la fertilité du sol (appauvrissement des horizons supérieurs) qui résulte de la détérioration des qualités physiques et chimiques et de l'extension des parcours, s'observe de plus en plus sur ces terres (Morsli, 1996) (Koudded 2013).

2-4-2-La dégradation des infrastructures :

La plupart des ravines prennent naissance sur les pentes en bordure des routes. Lorsque ces routes ne sont pas protégées comme il se doit de profondes ravines se forment en bordure des routes et les ramifications qu'elles donnent rongent les champs adjacents (Morsli, 1996) (Koudded 2013).

2-4-3-Les conséquences sur l'agriculture :

En effet, l'érosion hydrique diminue la capacité du sol à retenir l'eau et à la mettre à la disposition des végétaux. Les cultures sont alors soumises à des déficits hydriques plus fréquents et plus graves. Au point de vue physique, la perméabilité des sols décroît, la structure devient compacte, asphyxiante en saison humide. L'eau ne pénètre pas en profondeur, aucune réserve ne se constitue dans le sol pour la saison sèche. Au point de vue chimique et biologique, la faune et la microflore disparaissent et la réserve d'humus est dilapidée, ce qui a pour effet de rendre la nutrition azotée déficiente. Les éléments fins qui constituent la majeure partie du complexe absorbant disparaissent en ne laissant sur place que la trame stérile d'éléments grossiers. Le sol perd rapidement sa fertilité initiale, (GRECO, 1966).

3-Méthodes utilisés dans l'étude de l'érosion hydrique :

Il existe plusieurs méthodes d'étude d'érosion hydrique parmi ces méthodes :

3-1- Utilisation de l'imagerie satellitale :

L'intérêt grandissant des études à échelle plurikilométrique et les problématiques environnementales associées ont stimulé l'utilisation de la télédétection en pédologie. Sur la base de la connaissance des états de surface et de leur comportement vis-à-vis des ruissellements et de l'érosion par expérimentation, la cartographie des risques érosifs est possible à grande échelle (parcelle, petit bassin versant élémentaire) mais aussi sur des surfaces qui peuvent atteindre plusieurs milliers de km² grâce à des modèles spatiaux. L'acquisition de données satellitale (Landsat TM ou Spot), une technique et un outil couramment utilisés aujourd'hui, peut servir à la cartographie des risques érosifs. Si cette approche ne peut en aucun cas remplacer les études de terrain pour établir une compréhension du phénomène, de par son caractère spatial et temporel, elle reste la méthode de régionalisation et de mise à jour la plus rapide et la moins coûteuse. Actuellement, on peut atteindre une précision cartographique compatible avec des échelles de l'ordre du 1/25000 et de 1/50 000. Certes, la cartographie directe des traces d'érosion n'est pas possible à l'heure actuelle, mais on peut en revanche

étudier des critères indirects révélant, en surface, la présence de phénomènes érosifs. Les risques d'érosion sont déterminés sur la base d'unités spatiales d'intégration (USI), tenant compte des limites hydrologiques et des limites de paysage, définies en regroupant les bassins versants élémentaires concrets en grands bassins versants. Le choix du critère indirect fut la dégradation structurale de la surface des sols limoneux, qui favorise le ruissellement puis l'érosion. Par la suite, un couplage des observations sur le terrain (surfaces tests) et des données satellitaires a été effectué. Une base de données géographiques a été constituée, prenant en compte les principaux facteurs à l'origine du ruissellement à partir des données et des cartes existantes. Sur ce principe, une cartographie au 1/250000 des zones à risques érosifs de la région Nord-Pas-de-Calais a été réalisée, ainsi que d'autres études complémentaires sur la même région. (Mabit et al 2002).

3-2- La méthode PAP/CAR :

La méthode PAP/CAR est fondée sur 3 approches :

-L'approche prédictive, aboutit à la cartographie des unités homogènes des états érosifs, fournissant le canevas pour la cartographie du potentiel et des tendances générales.

L'objectif de cette phase est le traitement des données selon une séquence de sept 07 :

- Opération 1 et 2 : Elaboration de la carte des classes des pentes et la carte lithologique.
- Opération 3 : Carte d'érodibilité par superposition des cartes des pentes et des lithofaciès.
- Opération 4 et 5 : Elaboration des cartes d'occupation du sol et couvert végétal.
- Opération 6 : Carte de protection des sols par superposition des cartes d'occupation du sol et de couvert végétal.
- Opération 7 : Carte des états érosifs par superposition des cartes d'érodibilité et de protection des sols.

-L'approche descriptive, basée sur la délimitation cartographique des formes d'érosion et des processus de l'érosion, ainsi que les différents degrés atteints par chaque forme pour l'élaboration de la carte des formes d'érosion. Il s'agit principalement d'une évaluation qualitative qui doit être considérée comme complémentaire à la phase prédictive.

-L'approche d'intégration, c'est le résultat principal, qui est la carte finale des tendances de l'érosion hydrique à la dégradation ou à la régression. Elle est obtenue par superposition et intégration des informations qualitatives issues des phases prédictive et descriptive.

3-3- Méthode « Universal SoilLoss Equation » (Wischmeier et Smith) :

La perte de sol est généralement prédite à l'aide de l'équation universelle révisée de perte de sol comprenant l'érosivité des précipitations et du ruissellement, l'érodabilité du sol, l'inclinaison et la

longueur de la pente, la gestion de la couverture et les facteurs de pratique de soutien. En raison de la multiplicité des facteurs, de leurs interactions et de la variabilité spatiale et temporelle, l'érosion des sols varie considérablement dans l'espace et dans le temps. Pour ces raisons, la modélisation de la perte de sol est très compliquée. Les décideurs ont besoin d'estimations locales et régionales de la perte de sol ainsi que de leurs incertitudes correspondantes. Négliger les informations locales et détaillées peut conduire à une prise de décision inappropriée. Une stratégie basée sur un ensemble de données d'échantillonnage et une méthode géostatistique appelée simulation gaussienne séquentielle pour dériver des estimations locales et leurs incertitudes pour les facteurs d'entrée d'un système d'érosion du sol. Cette stratégie modélise la variabilité spatiale et temporelle des facteurs et dérive leurs estimations et variances à n'importe quel endroit et moment inconnus. Cette stratégie a été appliquée à une étude de cas dans laquelle le facteur R d'érosivité pluie-ruissellement a été estimé spatialement et temporellement à l'aide d'un ensemble de données sur les précipitations. Les résultats ont montré que la corrélation entre les observations et les estimations par la stratégie variait de 0,89 à 0,97, et la plupart des estimations moyennes tombaient dans leurs intervalles de confiance avec une probabilité de 95 %. La comparaison des estimations du facteur R à l'aide d'une carte isoérodente traditionnelle aux valeurs observées a suggéré que le facteur R pourrait avoir augmenté et qu'une nouvelle carte pourrait être nécessaire. La méthode développée dans cette étude peut également être utile pour modéliser d'autres systèmes écologiques complexes (Wang et al, 2002).

3-4-Cartographie de l'aléa « érosion des sols » (Batti) :

Batti (2005) a, quant à lui, tenté de spatialiser les pluies extrêmes et de cartographier l'aléa « érosion des sols » dans les bassins versants en amont du lagon Saint-Gilles à l'île de la Réunion. Ces études se sont concentrées sur la probabilité qu'il y ait arrachement et transport de particules solides. Pour effectuer la spatialisation des pluies extrêmes, une 26 analyse des données climatiques a d'abord été faite. Par la suite, il a caractérisé des distributions d'intensités extrêmes selon l'approche stochastique. Cette approche se base sur la détermination des Intensités-Durées-Fréquences (I-D-F). Afin de représenter la variabilité des pluies extrêmes dans l'espace et dans le temps, Batti (2005) a employé le Gradex des pluies, un paramètre de la loi Gumbel. D'après la méthode AURELHY (Benichou et Le Breton, 1987), une caractérisation de l'environnement topographique de la zone étudiée est préalablement faite en considérant les principales composantes du relief. Cette caractérisation est ensuite mise en relation avec la variable pluviométrique. Pour terminer, la variabilité spatiale du Gradex est déterminée à l'aide d'une régression linéaire multiple entre les composantes principales du relief et le Gradex. Un modèle qualitatif a également été appliqué à la zone d'étude. À partir de la méthodologie élaborée par Le Bissonnais et al. (2001), le processus d'érosion est influencé par divers facteurs dont le sol, l'occupation du sol, la topographie et le climat (Batti, 2005).

4-Perte de carbone par érosion hydrique dans les zones arides : implications d'une étude sur le changement de végétation dans le sud-ouest des États-Unis :

Le carbone organique du sol (COS) est une composante importante du cycle global du carbone mais est rarement quantifié de manière adéquate en termes de variabilité spatiale résultant des pertes de COS dues à l'érosion par l'eau. En outre, dans les zones arides, on sait peu de choses sur l'effet d'un changement généralisé de la végétation sur les changements dans les réserves de COS et sur le potentiel de l'érosion hydrique à redistribuer le COS dans le paysage, en particulier lors d'événements de ruissellement de grande ampleur (crues éclair). Cette étude évalue le changement des réserves de COS à travers un gradient d'empiètement des arbustes dans le désert de Chihuahua au sud-ouest des États-Unis. Une estimation robuste du stockage du COS dans les sols de surface est présentée, indiquant que plus de COS est stocké sous la végétation que dans les zones de sol nu. De plus, le changement de stockage du COS sur un gradient d'empiètement des arbustes s'avère non linéaire et très variable au sein de chaque type de végétation. Au cours du gradient de changement de végétation, l'hétérogénéité du COS augmente et le carbone plus récent des plantes C3 devient dominant.. Cette augmentation de l'hétérogénéité du COS est liée à une augmentation de l'érosion hydrique et de la perte de COS des zones inter-arbustes, qui s'auto-renforcent. Les terres arides dominées par les arbustes perdent plus de trois fois plus de COS que leurs homologues herbeuses. Les implications de cette étude sont doubles : (1) quantifier les effets du changement de végétation sur la perte de carbone via l'érosion hydrique et les effets très variables de la dégradation des terres sur les stocks de carbone du sol est essentiel. (2) Si une compréhension à l'échelle du paysage de la perte de carbone par l'érosion hydrique dans les zones arides est nécessaire, des études doivent caractériser l'hétérogénéité de la structure de l'écosystème et ses effets sur la fonction de l'écosystème à travers les écotones soumis au changement de végétation (Brazier et al. 2013).

5-L'érosion hydrique en Algérie :

En Algérie, l'érosion sans cesse croissante dans les milieux montagneux entraîne la dégradation des conditions de vie des riverains et des conséquences désastreuses (Meddi et al. 2005). En plus des dommages socio-économiques et des inondations qui menacent les populations et les infrastructures (Roose et al. 2010), ce phénomène réduit la capacité de rétention des eaux dans les barrages. Les pertes annuelles des eaux sont estimées à environ 20 millions de m³ dues à l'envasement (Remini, 2000). La modélisation et la cartographie des potentiels risques de l'érosion hydrique des sols est d'une grande importance dans la gestion et l'aménagement des bassins versants. Par ailleurs, l'apport des aménagements agro-sylvo-pastoraux dans les bassins versants où les risques d'érosion sont les plus intenses aura d'autant plus d'efficacité que les facteurs du milieu naturel sont bien connus. Or, les problèmes de dégradation des sols ne se posent pas avec la même acuité dans les différentes parties de la zone (Boughalem et al. 2012). C'est pourquoi il est utile de délimiter des zones d'aménagements prioritaires.

6-L'érosion hydrique dans les massifs des Aurès :

Le massif des Aurès constitue un rempart de protection des hautes plaines constantinoises, dans l'Est algérien, contre l'influence du désert. Il est caractérisé par une structure d'orientation nord-est, sud-ouest que suivent les principales vallées (oueds El-Hai, Labiod et El-Arab) et par un climat varié. Parmi les différentes autres formes d'érosion dont les effets ne sont pas négligeables, nous nous sommes intéressés à l'érosion hydrique qui risque d'être catastrophique pour cette région. L'étude expérimentale nous a montré que l'intensité de l'érosion hydrique diminue du nord au sud (de 73 à 63 m³/ha dans l'oued Labiod), en corrélation avec les principaux paramètres (climat, relief, lithologie et couvert végétal), alors que d'est en ouest, nous constatons que l'érosion est très intense au centre, moyenne à l'est et faible à l'ouest (Berkane & Yahiaoui, 2007).

7-Conclusion :

Ce chapitre était une vision sur le phénomène de l'érosion hydrique et les méthodes utilisées pour la réalisation des cartes qui représente ce dernier, et les conséquences de l'érosion hydrique sur la fertilité du sol et sur l'agriculture.

D'après les méthodes citées précédemment le choix de la méthode dépend aux données disponibles sur la zone d'étude.

CHAPITRE 2:

CADRE DE L'ÉTUDE

1-Introduction :

L'Algérie est divisée en cinq bassins hydrographiques regroupant les 19 bassins versants du pays. Les ressources en eau superficielle renouvelables internes totalisent environ $9.8 \text{ km}^3/\text{an}$ pour l'ensemble du pays dont le Sahara, bassin le plus important par la surface, ne renferme que 0.6 km^3 . (FAO 2005). Les ressources en eau souterraine renouvelables contenues dans les nappes du nord du pays sont estimées à près de $1.5 \text{ km}^3/\text{an}$. Ces nappes sont alimentées essentiellement par les précipitations dont la répartition demeure irrégulière à la fois dans le temps et dans l'espace. Le sud du pays se caractérise par l'existence de ressources en eau souterraines très importantes provenant des nappes du continental intercalaire et du complexe terminal. Si l'on considère qu'il n'existe pas de partie commune entre eaux de surface et eaux souterraines, les ressources totales renouvelables internes s'élèvent à $11.3 \text{ km}^3/\text{an}$. Les ressources exploitables sont évaluées à $7.9 \text{ km}^3/\text{an}$ (FAO 2005).

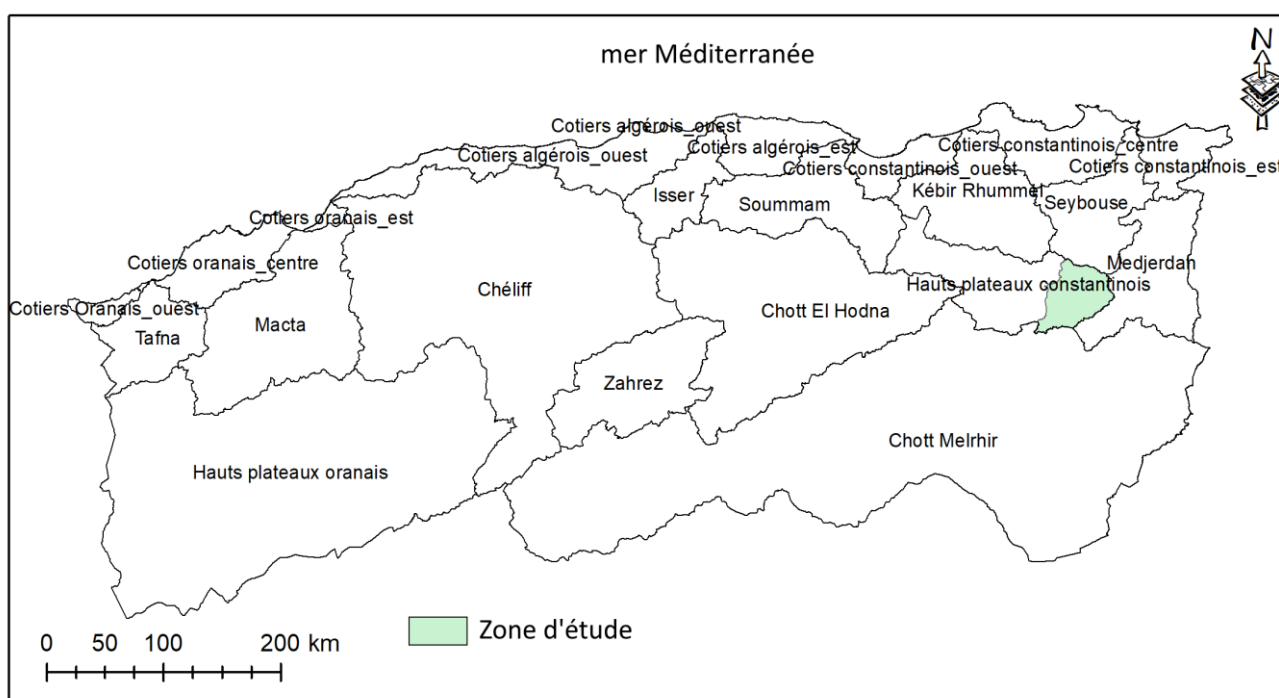


Figure 04 : Les grands bassins versant en Algérie. (Source: Auteurs)

2-La zone d'étude :

2-1 Situation géographique :

Les limites du bassin dit « Sebka » correspondent à la ligne de crête nord dans le sens NW-NE des massifs de Sidi Reghis et Aamamet El Kebir. A l'Est, la ligne de crête, dans la direction NE-SW du

bloc Dj. Fedjidjet, Dj. Boutokhma, Tafrennt et Chettaia. Sud, ligne de crête direction SE-SO, djebels Feraoun, Aurès, el Aoud. A l'ouest, le talweg de Dj's Oued Gueiss. Fedjoudj et Dj.taref.

Le bassin de Gareat El Tarf est situé au nord-est de l'Algérie, à l'extrémité orientale de la haute plaine steppique entre le Tel Atlas au nord et l'Atlas saharien (massif des Aurès) au sud. Selon l'Agence du bassin versant, le bassin versant de Gareat El Tarf fait partie de l'ensemble des bassins versants des Hauteurs de Constantine et couvre une superficie de 2 432 kilomètres carrés. Il est situé entre les altitudes 35°22' et 35°56' nord et les longitudes 6°49' et 7°34' est. Le centre est interrompu par une dépression d'afflux (Gareat), plus connue sous le nom de sebkha (lac salé), qui couvre une superficie de 200 kilomètres carrés (Dali 2009).

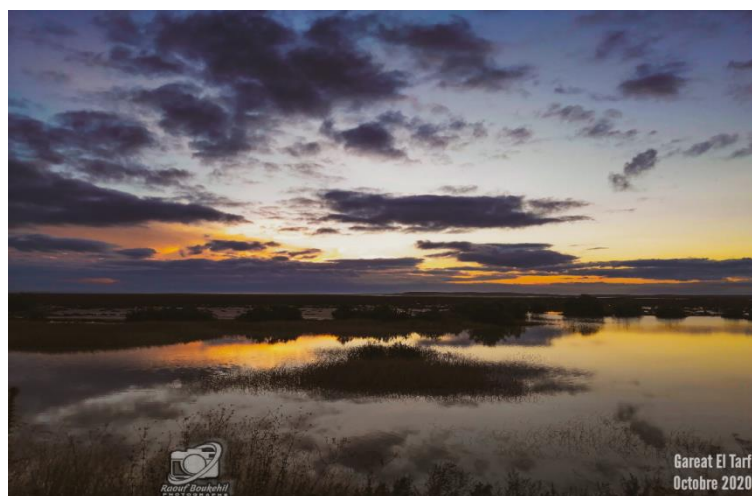


Figure 05 : Vue sur la zone humide Gareat El Tarf (Oct. 2020) prise par Boukehil Abderaouf.

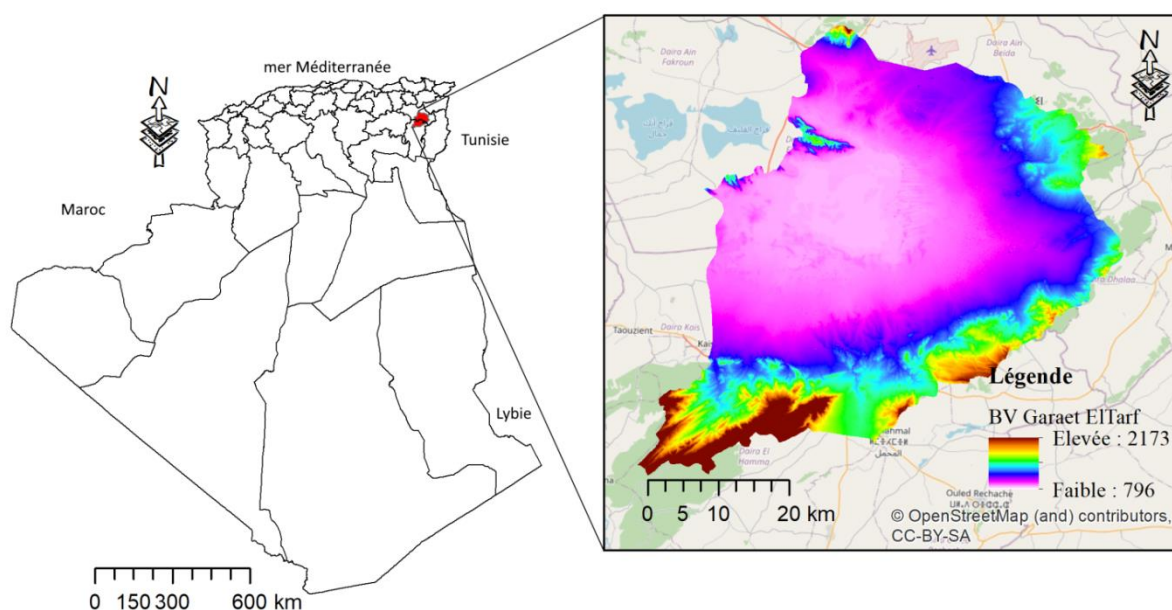


Fig. 06 : Carte de situation géographique de bassin versant de Gareat El Tarf. (Source: Auteurs)

Tableau 01 : Tranches d'altitudes et superficies (Dib 2018).

Altitude	% Surface Totale	% Cumulatif
>700	0,002	100
700-900	46,511	99,998
900-1100	36,719	53,487
1100-1300	12,339	16,768
1300-1500	3,046	4,429
1500-1700	0,863	1,383
1700-1900	0,427	0,520
1900-2100	0,092	0,092

2-2 Hydrographie :

Le réseau hydrographique des bassins du Nord-est de l'Algérie est plus développé au Nord qu'au Sud. La particularité du bassin des hauts-plateaux constantinois c'est la ramification et une faible densité à l'écoulement temporaire, les majeurs oueds de ce bassin sont oued chemora et boulfreiss.

Les grands oueds de la région sont plus ou moins important avec un écoulement non permanent On distingue :

- Oued Boulfreiss dont la direction d'écoulement est SO-NE
- Oued Maarouf dont la direction d'écoulement est S-N
- Oued Baghai dont la direction d'écoulement est S-N.
- Oued Aisseur dont la direction d'écoulement est SE-NO.

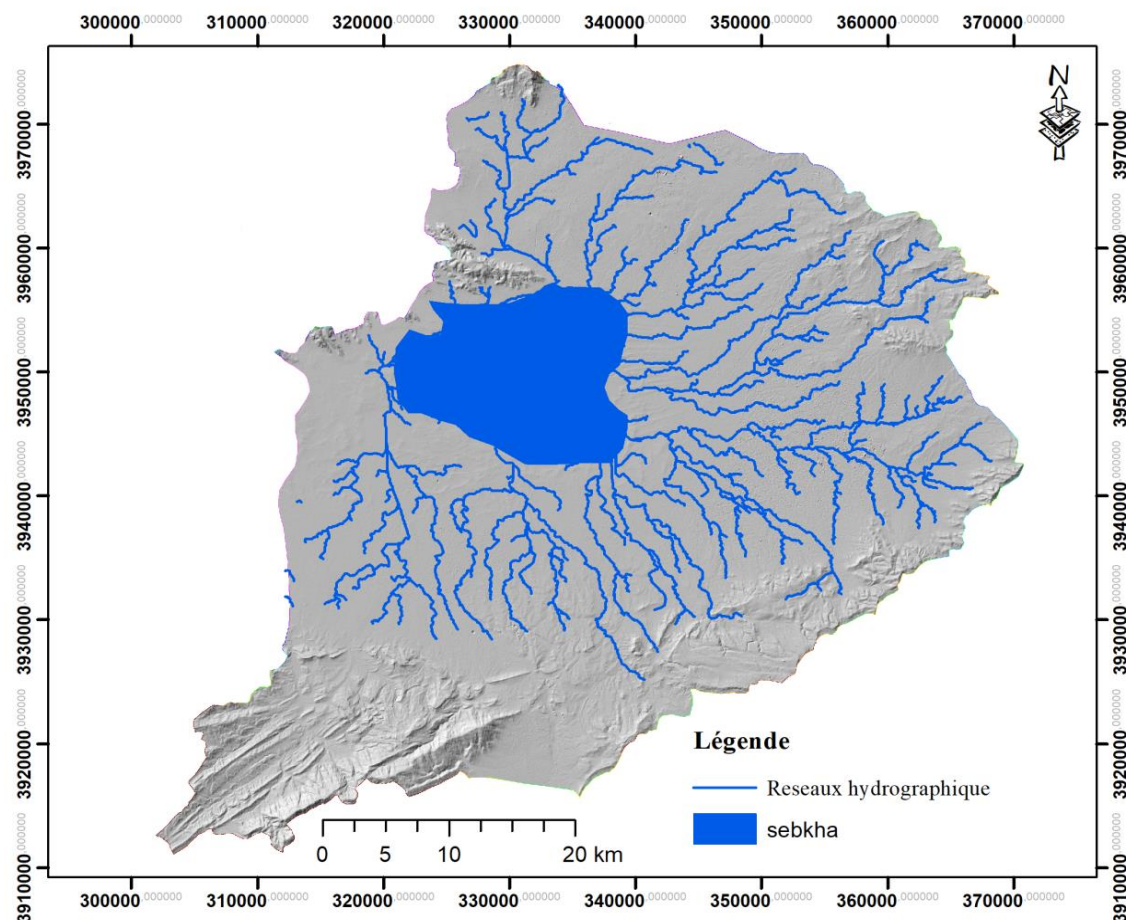


Figure 07 : Carte de réseau hydrographique de bassin versant de Gareat El Tarf. (Source: Auteurs)

2-3 Climat :

La zone d'étude est caractérisée par un climat semi aride qui est le climat dominant dans la région semi-aride, froid et pluvieux pendant l'hiver, chaud et sec durant l'été. Où la moyenne des précipitations annuelles dépasse les 350 mm.

Compte à la température elle atteint son point durant le mois de juillet environ 30°C et le la plus basse température durant le mois de janvier entre 5°C et 7°C.

2-4 Le relief :

La morphologie de la zone d'étude se constitue de plaines qui contiennent des dépressions où il se trouve la sebkha de Tarf caractérisée par une altitude de 832 m par contre les limites de bassin (sud-nord), sont caractérisé par des déclivités remarquables du à une géomorphogenèse qui mène a des dégorgements superficiels importants .Les entours de la zone d'étude peuvent atteindre ou dépasser les 1200m en altitude.

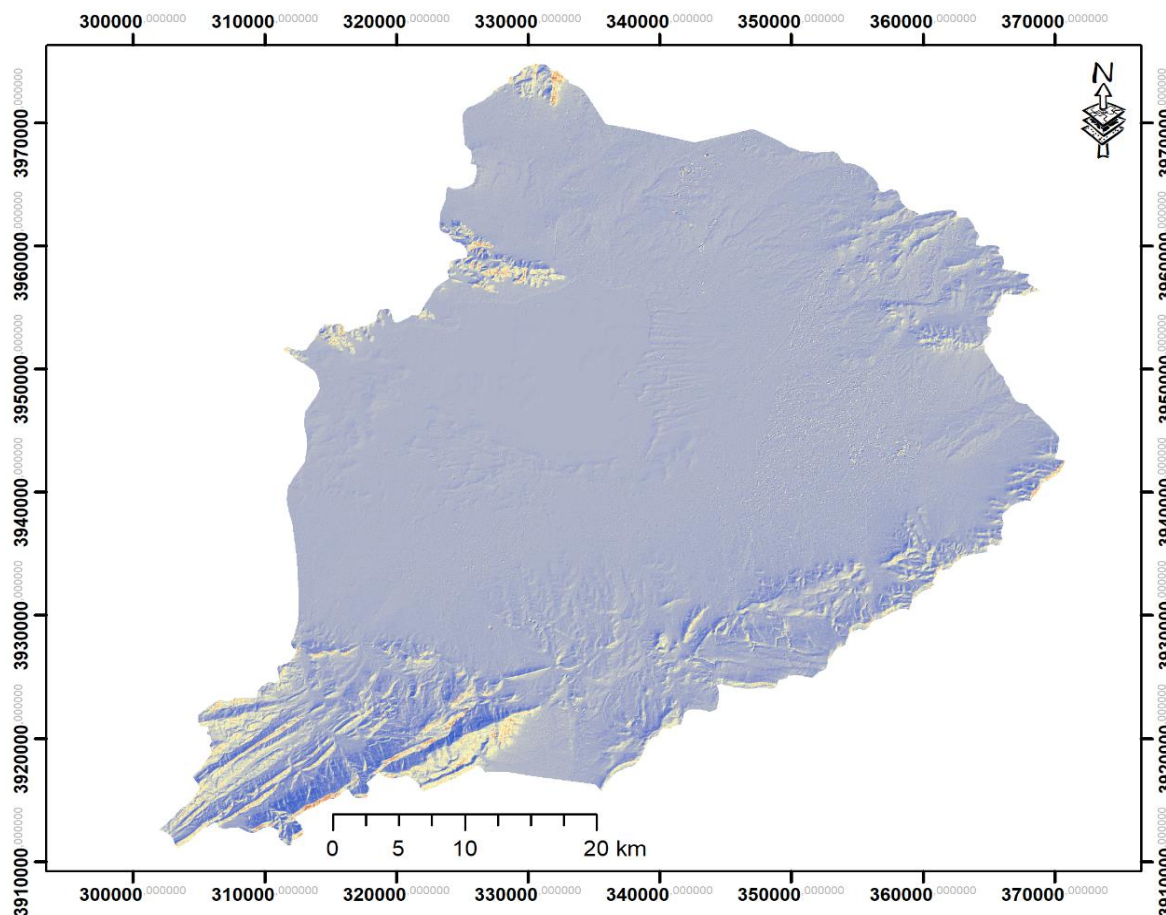


Figure 08 : Carte de relief de bassin versant de Gareat El Tarf. (Source: Auteurs)

2-5 Cadre démographique :

La zone d'étude est délimitée par la wilaya d'Oum El Bouaghi et Khenchela pour cela on prend en considération la démographie de ces deux wilayas et quelques communes dans l'année 2015.

La wilaya de Khenchela compte : 441136 habitants

La wilaya d'Oum el Bouaghi : 717078 habitants

Tableau 02 : Distribution de la population au niveau du bassin de Garaet El Tarf (<https://www.city-facts.com/>) (statistiques 2015).

wilaya	commune	Population (hab)	Superficie (km ²)	Densité (hab/km ²)
Khenchela	Khenchela	126.931	31.2	4065
	Kais	58479	473.3	123.6
	El Hamma	40829	1071.4	38.1
Oum El bouaghi	Oum El Bouaghi	105921	1169.1	90.6
	F'kirina	17427	541.5	32.2
	Ain Beida	166194	598.5	277.7

2-6 Aperçu sur la faune et la flore :

Garaet El-Tarf est réputée pour sa fréquentation hivernale par les Grues cendrées *Grus grus* (Metzmacher, 1979, Houhamdi et al, 2008) et du point de vue végétation, la Garaet est entièrement entourée par des champs de culture céréalière et renferme une richesse floristique peu importante, dissimulée dans les touffes de *Juncusacutus* et *Juncusmaritimus* entourant le plan d'eau (Saheb, 2003) (Aberkane 2014).

Tableau 03 : Dénombrement des oiseaux d'eau entre 1971 et 2004 (<https://rsis.ramsar.org>)

Année	71	75	77	78	79	82	89	2001	2003	2004
Éspece										
<i>Canardcolvert(Anasplatyrhychos)</i>	23		5	2			80			
<i>Sarcelled'hiver(Anascrecca)</i>	75			4						
<i>Canardchipeau(Anasstrepera)</i>						1				
<i>Canardsiffleur(Anaspenelope)</i>	6.000			270			525			
<i>Canardpilet(Anasacuta)</i>	250		14	56			250			
<i>Canardsouchet(Anasclypeata)</i>	250		69	28			320			
<i>Fuligulemorillon(Aythyafuligula)</i>	20									
<i>Oiecentrée(Anseranser)</i>			22							
<i>TadornedeBelon(Tadornatadorna)</i>	4.500		348	2.520		1		57		10.000
<i>Foulquemacroule(Fulicaatra)</i>	1.000									
<i>Flamantrose(Phoenicopterusrubber)</i>	5.000		340	15			260	26	28.000	1.500
<i>Gruecentrée(Grusgrus)</i>	950	180			412		21		7.000	
Total	17.818	180	798	2.895	412	2	1.456	83	35.000	11.500

2-7 Valeurs sociales et culturelles:

Par exemple, production halieutique, foresterie, importance religieuse, sites archéologiques, relations sociales avec la zone humide, etc. Établir la distinction entre l'importance historique/archéologique/religieuse et les valeurs socio-économiques actuelles.

Le pâturage est une source non négligeable de revenus pour les riverains, auquel il faudrait rajouter l'agriculture développée tout autour du site.

3- Cadre géologique :

3-1-Litho-stratigraphie du bassin de Gareat El Tarf

La Lithostratigraphie a été tirée pour l'essentiel, des notices explicatives des cartes géologiques au 1/50 000, Khenchela, Gareat El Taref, Oum El Bouaghi, Ain El Beida, F'kirina, Delàa et la carte géologique de Constantine 1/200 000, et des coupes géologiques (Benzat 2013).

3-2-Trias

Les affleurements triasiques sont assez nombreux et très localisés à proximité de Khenchela, où il isole le Miocène du Crétacé, suivant une bande de 4 à 5 Km de long et de 300 à 400 m de large et, sur Djebels El Krouma et Knif en contact anormal avec l'albien, le Cénomaniens et le Sénonien.

La série triasique comportait probablement à l'origine, de la base vers le sommet : une formation évaporitique épaisse, en particulier sous forme d'amalgame intensément replissés, représentent les indices les plus sûrs de la présence du trias. Le gypse est le plus fréquent, en amas saccharoïdes blanc grisâtre, durs, ou sous forme de grands cristaux (Laffitte, 1939 et Vila, 1977).

L'abondance du sel caractérise cet affleurement, visible dans les diapirs de Khenchela et Krouma, mais cela tient, non pas un caractère original particulier au Trias de cette région, mais au fait que ce pointement étant récent (post-miocène) le sel n'a pas eu le temps d'être dissous, tandis que dans les autres pointements, qui sont anti-miocène, il a disparu depuis longtemps (Laffite 1939).

Les argiles et marnes bariolées de couleur verdâtre, rougeâtre à violacée, constituent les roches les plus abondantes à l'affleurement. Des passées calcaires-dolomitiques, de couleur gris bleuté à noirâtre, généralement bien stratifiées et présentant parfois quelques passées marneuses, sont fréquemment emballées dans les complexes triasiques.

3-3- Crétacé

Formant l'ossature de la région, il correspond à une bande grossièrement orientée SW- NE, formée essentiellement de calcaire et de marnes.

3-3-1- Crétacé Inférieur:

-Barrémien supérieur : à dominante gréseuse

C'est une série essentiellement composée de grès blancs fins, à ciment argilo carbonaté, à tendance quartziteuse. Leur base n'est visible qu'au Sud du Djebel Touzzeline.

-Aptien marneux (inférieur):Au Sidi Reghiss l'Aptien marneux est représenté par environ 100 m de marnes gris noir à débris schisteux et à minces intercalations de mammo-calcaire gris à cassure noire.

-Aptien supérieur : Calcaire bien, lité à Orbitoline, Ces couches forment / essentiel de la masse calcaire du Djebel Sidi Reghiss et du Djebel Tarf. Au Djebel Sidi Reghiss la série est épaisse d'environ 250 à 300 m.

Au niveau de la coupe géologique prise à Djebel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut :

- Marnes gypseuses.
- Calcaires sombres en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges.

Son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètre.

Sur le versant Nord-Ouest du Djebel Sidi Reghiss, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles.

3-3-2-Crétacé moyen:

-Albien :

De l'anticlinal de Khenchela (marnes, dolomie et grés) et de Djebel el Krouma.

L'Albien entoure régulièrement l'anticlinal de Khenchela en formant une ceinture plus ou moins continue au-dessous de l'Aptien .il se présente généralement sous un faciès gréseux ou alternent, à la base et au sommet, des marnes, des dolomies et des biosparites.

Au niveau de la coupe géologique prise à Djebel El-Krouma, nous avons la succession suivante de bas en haut :

- Marnes gypseuses.
- Calcaires sombre en bancs métriques, alternant avec des marnes beiges.

Son épaisseur dépasse les cinquantaines de mètre.

Sur le versant nord-ouest du Djebel Sidi Reghiss, seul quelques bancs gréseux quartzitiques sont visibles.

3-3-3-Crétacé supérieur :

-Cénomaniens inférieurs :

Il est présent dans tous les anticlinaux de l'Aurès, il est essentiellement calcaire- marneux .La partie supérieure est constituée de bancs calcaires massif mais peu épais, qui s'intercalent dans des mairies gris-bleu ou beiges, avec une épaisseur variable peut atteindre 500 à 600 m.

-Turonien basal :

Alternance de marnes et de petits bancs marno-calcaire. La base de cet ensemble est constituée par quelques mètres de marno-calcaire blanchâtres en plaquettes fines à cassure noirâtre.

Au-dessus 200 m de marnes grises ou noires montrant des intercalations de marno- calcaire blanchâtres.

-Turonien « moyen et supérieur » :

Ce sont des alternances de marnes grises à beiges et de calcaire en. Bancs métrique La prédominante des intercalations calcaires créent une barre bien visible dans la morphologie.

-Coniacien :

Au Djebel Knif, sous la discordance des formations brechiquesSantoniennes le coniacien est formé à la base par 90 m d'alternances de marnes beiges ou grises et de calcaire gris. Au- dessus au Djebel Bardo (Ain Beida) des talwegs isolés montrent sur une centaine de mètres, des formations composées essentiellement de marnes grises alternant avec des calcaires noduleux beiges.

-Santonien :

Visible aux alentours du Djebel Knif. il correspond à 230 m de marnes gris bleutées avec à la base et au sommet des marno-calcaires en bancs décimétriques riches en débris d'incérâmes, il repose en discordance sur les argiles varicolores du trias et sur le Coniacien. Ces formations santoniennes contiennent des algues et des débris de rudistes ainsi que des fragments d'hippurites, À la base des formations récifales contiennent une microfaune pélagique.

-Campanien : manies et calcaires crayeux.

Le Campanien est très bien visible aux environs des Djebels Chettaia et Knif et dans le synclinal du Djebel Aurès.

Dans le synclinal du Djebel Aurès le Campanien correspond à 170 m de marnes noires et contient de rares intercalations de calcaires, légèrement phosphatés.

Au djebel Knif, on retrouve à la base du Campanien une séquence calcaire de 12 m d'épaisseur. Ce sont des calcaires crayeux en bancs décimétriques à élément triasique remaniés (argiles varicolores). Au-dessus, des marnes noires ne dépassent pas 80 m d'épaisseur.

-Maestrichtien inférieur : a dominante marneuse.

Ce sont des formations atteignant une épaisseur estimable à 40 m. se sont des marnes de teinte gris-beige à débris de mollusque, alternant avec des calcaires ocre, beige en bancs décimétriques à débris de lamellibranches, d'échinides et de brachiopodes, inocérames régularis.

-Maestrichtien supérieur : calcaire à Inocérames.

Ce sont des formations calcaireuse. Massifs blanchâtres, granuleux, en bancs décimétriques à centimétriques avec une stratification oblique auprès du Djebel Knif, la cassure des calcaires est un peu plus sombre de teinte grise, bleue, au contraire au Djebel Bardo et Djebel Boutoukhma, les formations d'une centaine de mètres. Ce sont des bancs de calcaires marneux métriques à plurimétriques avec une cassure blanchâtre passées noduleuses et à rognons de silex. Ces formations contiennent des fragments d'Inocérames. L'épaisseur de ces formations ne dépasse pas les 95 m.

3-3-4- Eocène

-Montien

Formation d'une épaisseur de 70 m, présentant des marnes grises verdâtres en concordance sur le maestrichtien.

-Yprésien et Thanétien

Ces formations sont d'une épaisseur approximative à 85 m, présente une séquence marneuse grise beige à la base et une séquence carbonatée au sommet. Les roches sont bitumineuses, elles contiennent des silex, des petits nodules phosphatés.

3-3-5- Miocène

3-3-5-1-Miocène inférieur

-Aquitano-Burdigalien : Conglomérats rouges.

L'épaisseur ne dépasse pas 60 à 80 m il s'agit d'argile rouge, d'argiles silteuses rouges et de poudingues à gros éléments arrondis de calcaires. cette série se développe surtout au Sud d'Ain Hammam. Quelques minuscules affleurements de cette formation ont été repérés sur le versant Sud du Djebel Guellif.

-Langhien-Serravalien :

Marnes biomécrites, biomécrosparites et grés blanc.

Cet ensemble complexe et discordant est visible au Sud de djebel Knif et à l'Est de Djebel Chettaâ ou il repose directement en transgression sur le Trias et surtout au Nord du Kef Tifkressa. Et du Ras Serdoun l'épaisseur de cet ensemble est de 36 m.

3-3-5-2- Miocène supérieur

-Tortonien gréseux blanc :

Cette formation est composée de grés blancs grossiers en bancs pluri métriques, abondance de dragée de quartz (diamètre allant jusqu'à 2cm).

-Tortonien supérieur continental :

Argiles silteuses beiges et rouges, grés.

Cette formation affleure aux alentours de Baghai 150 m sont ici visible.

3-3-6-Pliocène continental :

Argiles et conglomérats rouges à la base, calcaire lacustre. Marne.

Ces formations constituent les trois-quarts des affleurements du Djebel Guellif et apparaissent aussi Ras Ed Drah. Notant que cette formation est absente dans le reste du bassin de Garaet El Tarf.

3-3-7- Quaternaire :

- Qd Formations dunaires (lunettes).

C'est un agglomérat sableux de poussière et de petits débris qu'on trouve au côté Nord - Est de Gareat et Tarf.

- Villafranchien probable : croûte calcaires massives.

Ces formations, perchées par rapport aux surfaces précédentes. Entaillées par les cycles qui ont suivies correspondent à d'anciens glaciers qui s'abaissent doucement de 920 m au Nord à 870 m en elles correspondent à d'anciens glaciers qui s'abaissent doucement de 920 m au Nord à 810 m en bordure de Gareat et Tarf.

- Glacis polygéniques nappant les reliefs.

Ces glaciers sont constitués au voisinage immédiat des reliefs par des alternances de couches de cailloutis et blocailles et des colluvions avec un enrichissement en calcaires dans les horizons superficiels couvrent de très vastes surfaces.

- Terres arables, limons anciens et quaternaire indéterminé.

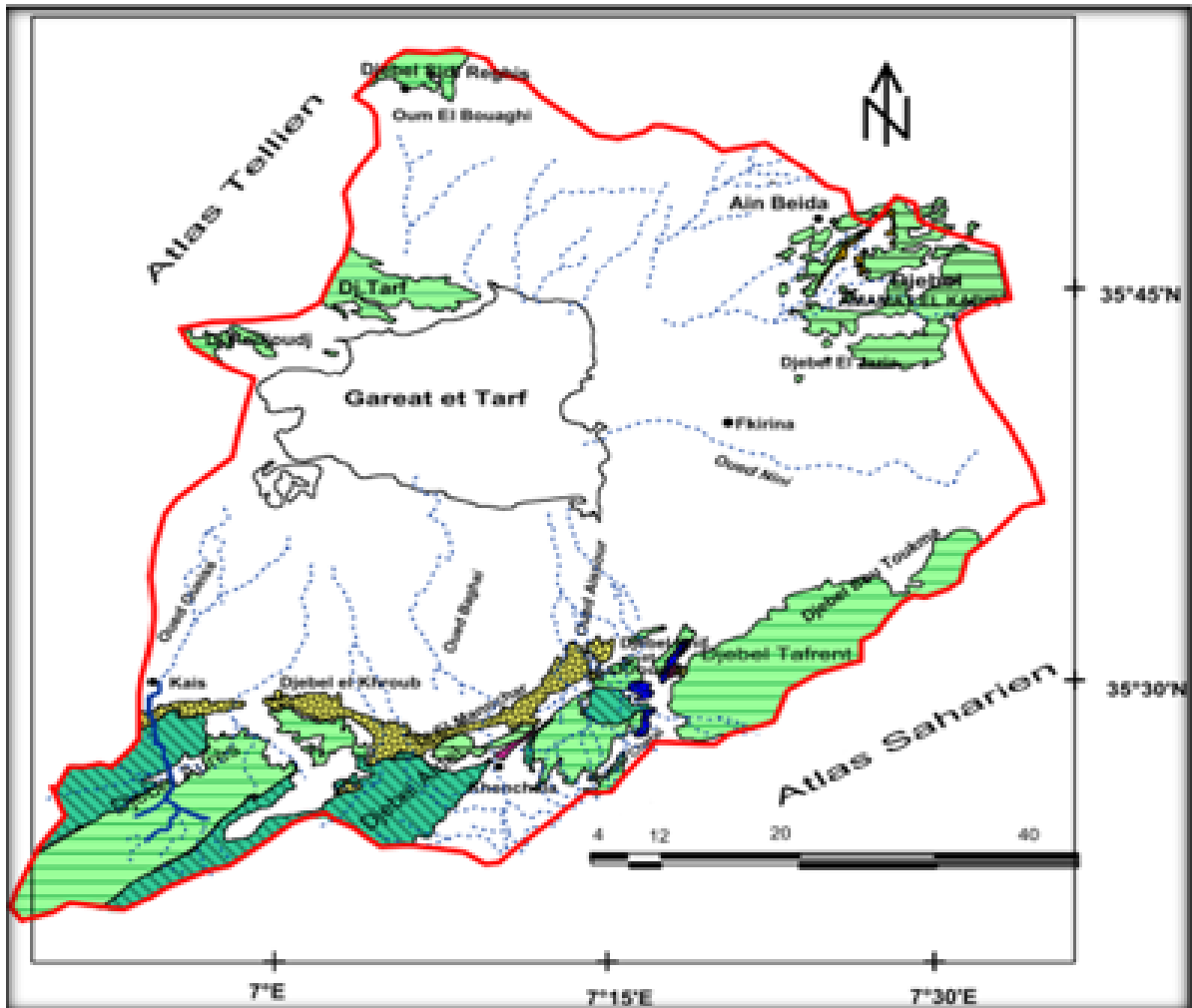
Les terres arables correspondent à des sols bruns non calcaires installés sur des limons anciens bruns ou gris.

- Alluvions actuelles ou récentes.

Il s'agit de limons gris et de graviers. Sont localisés dans la plaine de Remila et celle de F'kirina les fonds de vallée des oueds septentrionaux et des Faïd qui rejoignent la Gareat El Tarf

- Eboulis à blocs.

Les éboulis sont localisés aux massifs montagneux de l'anticlinal de Khenchela et sur le versant nord du Djebel Tarf. Ils s'installent au pied des corniches calcaires ou gréseuses qui alimentent de vastes nappes d'éboulis.



Légende :

- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------------|--|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|--|
| 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | |
| 1 | Quaternaire | Terrains récents, Eboulis, Alluvions, Glacis, Croutes, Calcaires | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Miocène | Grés | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Crétacé moyen | Marnes, calcaire et marmo-calcaire | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Crétacé inférieur | Calcaires fissurés | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | Trias/Sénonien | Argiles, gypses, glaçons calcaire dolomitiques | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | Limite du bassin versant | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | Oued temporaire | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | Oued permanent | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | Agglomération | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figure 09 : Carte de géologie de bassin versant de Gareat El Tarf. (Source: Auteurs)

4-Conclusion :

Sur le secteur étudié, le Crétacé inférieur s'est déposé sous forme de calcaires marneux, de marne, de calcaire gréseux et des calcaires compacts. L'Aptien affleure au Djebel Fedjoudj, au Nord du bassin.

Le Tertiaire est constitué d'argiles rouges gypseuses et repose directement, en discordance, sur le Crétacé. Cette formation est composée de marnes gréseuses et grès reposent directement sur le conglomérat de base. Il convient de préciser que ces formations Miocènes marines, classées fréquemment sous le terme de « grès », Les formations quaternaires sont particulièrement bien développées dans les régions comprises entre les reliefs crétacés des monts des Aurès au sud et la dépression centrale du bassin de Rémila, établie principalement sur le Néogène. Les formations anciennes sont constituées par des alternances de conglomérats et de sables surmontés par des sédiments fins argilo sableux, rouge au sommet desquels apparaît une croûte calcaire blanche. Des alluvions récentes montrent que la sédimentation est en majeure partie argileuse et marneuse, avec une proportion importante de gypse et présente un maximum d'épaisseur au centre de la plaine et au voisinage du Chott.

CHAPITRE 3 :

ÉTUDE CLIMATIQUE

1-Introduction :

Les impacts des changements climatiques sur l'érosion des sols sont complexes et impliquent des modifications dans les quantités et les intensités des précipitations, le nombre de jours avec précipitations, le rapport pluie/neige, la production de biomasse, le taux de décomposition des résidus de cultures, l'activité microbienne du sol, le taux d'évapotranspiration et l'occupation du territoire (Nearing et al, 2004). Les études indiquent également que le ruissellement et l'érosion sont plus influencés par les modifications annuelles des précipitations associées aux quantités et aux intensités de pluies qu'au nombre total de jours de pluie dans l'année. Les niveaux d'érosivité des précipitations sont en hausse sur le continent américain (Nearing et al. 2004). Sur une période de 20 ans, l'érosivité des précipitations pourrait s'accroître de 17% à 58% selon les régions géographiques. (Thacker 2004) souligne qu'une augmentation de l'intensité des pluies d'environ 10% entraînerait une augmentation de 24% du taux moyen d'érosion des sols. (Nearing et al. 2004) suggèrent que le ruissellement et l'érosion hydrique augmenteraient d'environ 2% pour chaque hausse de 1% des précipitations annuelles. (Phillips 1993) mentionne plutôt qu'une hausse moyenne de 2 à 7% des taux d'érosion serait imputable aux changements climatiques. Quoiqu'il en soit, sans mesures de protection additionnelles contre l'érosion, de telles augmentations pourraient annihiler une grande partie des progrès déjà réalisés pour contrer la dégradation des sols et la pollution diffuse (SWCS, 2003).

2-Cadre climatique de la zone d'étude :

Caractères généraux :

Le climat du bassin versant de Garaet El Tarf est fortement marqué par la continentalité, qui croît avec l'altitude et avec l'éloignement de la mer. Les conditions climatiques de cette région sont fortement influencées par celles de la Méditerranée. Cependant, des masses d'air d'origine atlantique (en hiver) et saharienne (en été), peuvent venir influencer les facteurs climatiques de la région. D'une manière générale, le bassin versant de Garaet El Tarf caractérise par des pluies peu abondantes mais orageuses et souvent brutales, réparties sur toute l'année avec maximum de printemps et d'automne. Ces pluies sont liées à une humidité relative faible en été, assez élevée en hiver, et à des températures fortement continentales, à grande amplitude diurne et annuelle entraînant une variation importante de l'humidité relative entre le jour et la nuit et des vents souvent violents et desséchants".

Dans cette étude on a utilisé les données de deux stations météorologiques : station d'Oum El Bouaghi et la station d'El Hamma (Khenchela).

2-1 Station d'Oum El Bouaghi :

2-1-1 Pluviométrie :

Depuis de nombreuses décennies, la corrélation entre les pluies torrentielles et l'intensité de l'érosion est observée (Paul-Hus C, 2011). Dès 1955, (Galevski, 1955) avait remarqué sur un périmètre d'étude que l'intensité des pluies exerçait un effet primaire et un effet secondaire. L'effet primaire est défini comme étant l'action mécanique des gouttes pluviales produites sur le sol, et l'effet secondaire comme étant la puissance de ruissellement sur les versants. Les pluies agressives exceptionnelles qui s'abattent sur la région, en déclenchant le ravinement et des glissements de terrain, charrient d'énormes quantités de sédiments vers les réservoirs d'eaux (Roose, 2004).

Les données utilisées sont enregistrées entre 1991 et 2020 (infoclimat.fr) et (climateknowledgeportal.worldbank) le graph (Fig.10) montre :

- La moyenne annuelle des précipitations atteinte les 350 mm
- Le mois le plus pluvieux est le mois de Mai (environ 40 mm)
- Le mois le plus sec est le mois de Juillet (environ 10 mm)

Les valeurs des précipitations montrent une dominance des pluies d'automne et de printemps, la sécheresse estivale reste très accentuée et peut s'étendre sur quelques mois, ce qui est caractéristique du climat méditerranéen.

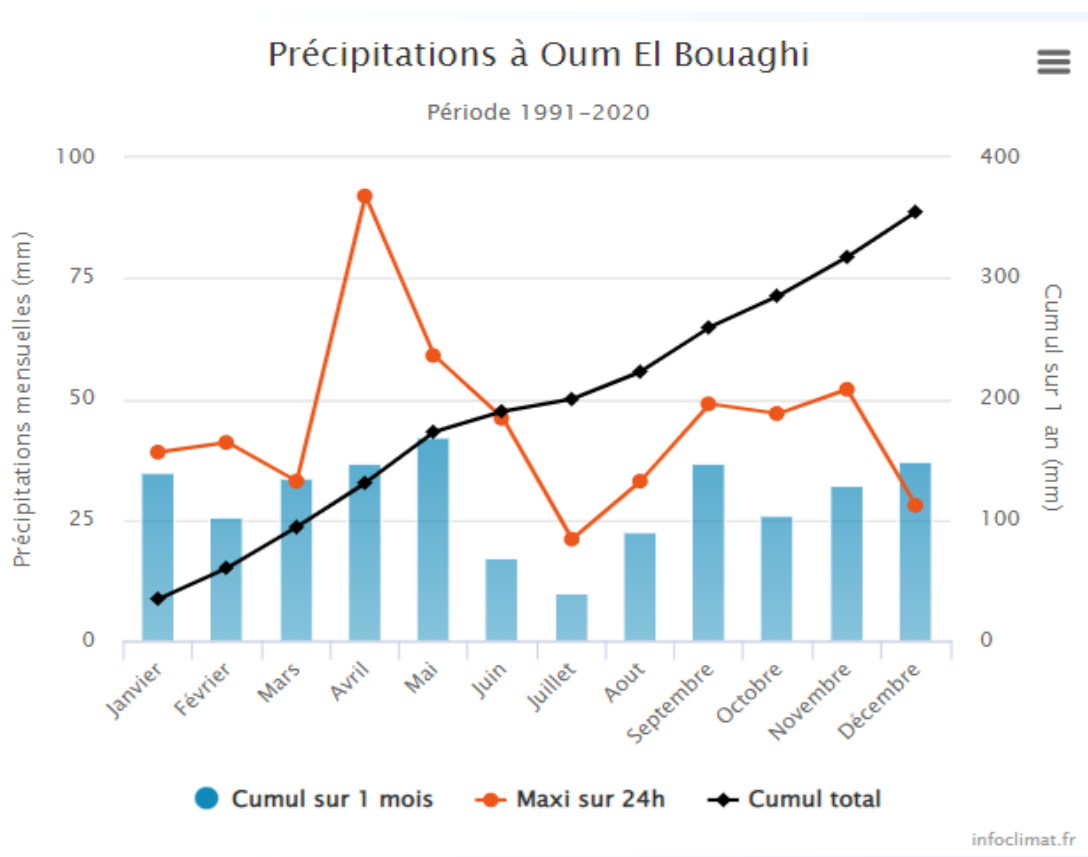


Figure 10 : précipitations de la wilaya d'Oum El Bouaghi (1991-2020) (infoclimat.fr).

2-1-2 Température :

La température est le second facteur caractéristique du climat. Il a été défini comme une qualité de l'atmosphère et non une grandeur physique mesurable (Peguy, 1970). Il régit directement le climat en interaction avec les autres facteurs météorologiques, permettant avec les précipitations le calcul du déficit d'écoulement et les indices climatiques. Au point de vue pédologique, les écarts thermiques provoquent la désagrégation des roches ayant pour conséquence le développement des sols. Elles interviennent aussi dans le déroulement de tous les processus, la croissance, la reproduction, la survie et par conséquent la répartition géographique de la végétation générant les paysages les plus divers (Soltner, 1992).

La température est un facteur qui varie dans le temps et dans l'espace. L'effet de cette variation est marqué au niveau des températures minimales et même maximales.

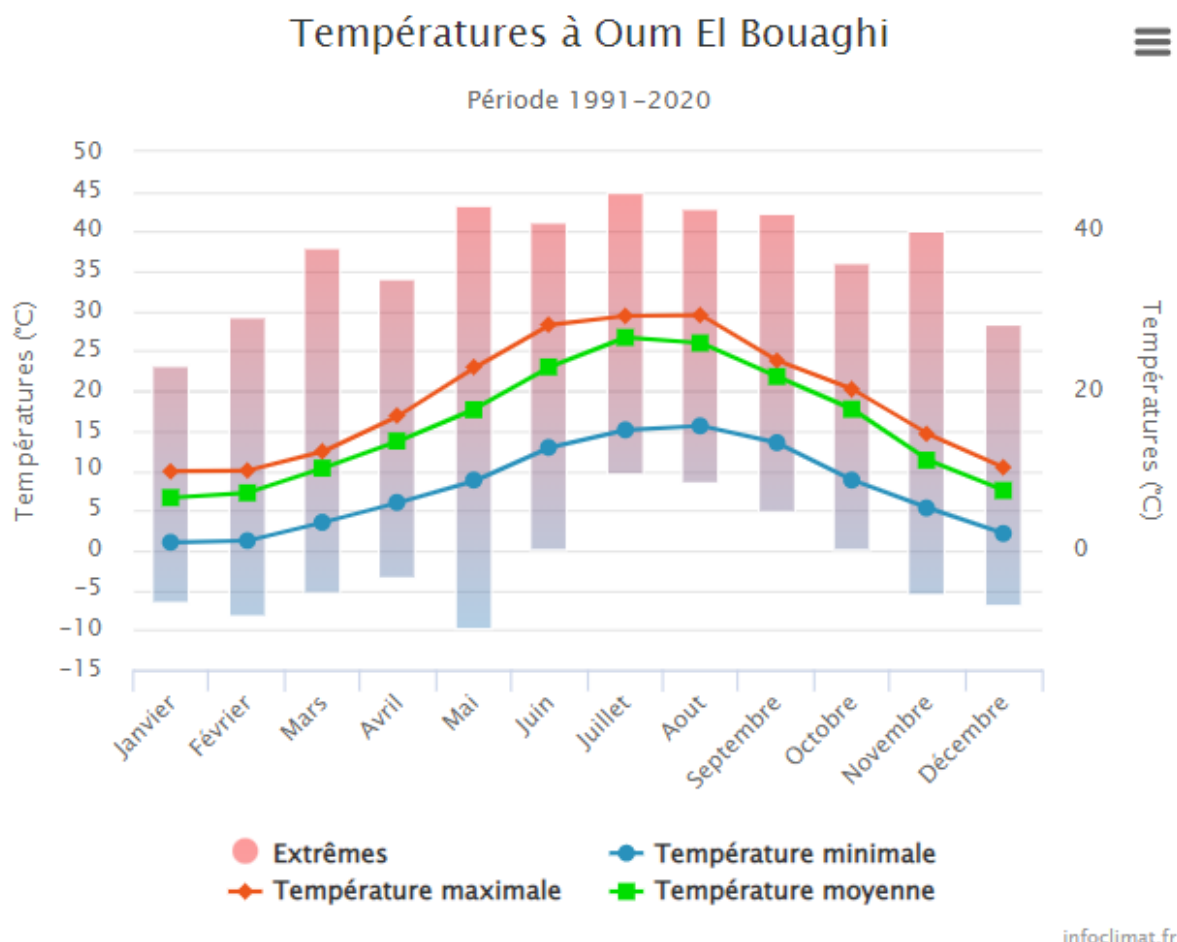


Figure 11 : températures de la wilaya d'Oum El Bouaghi (1991-2020) (Source : infoclimat.fr).

Le graph (Fig11.) montre les températures minimale, maximale, extrême et moyenne. L'examen du graphe permet de révéler les résultats suivants :

- La température extrême est de 45°C enregistré pendant le mois de Juillet.
- Le mois le plus chaud est le mois de Juillet et d'aout avec un max environ 30°C
- Le mois le plus froid est le mois de janvier avec environ 2°C (température minimale)

2-2 Station de Khenchela :

2-2-1-Pluviométrie et température :

L'examen du graph (Fig. 12) permet de ressortir les résultats suivants :

- Le moi le plus pluvieux est Janvier avec une moyenne mensuelle de 43 mm
- le mois de Janvier le plus froid avec une moyenne de 7° C et le moi de juillet le plus chaude avec une moyenne de température de 28° C.

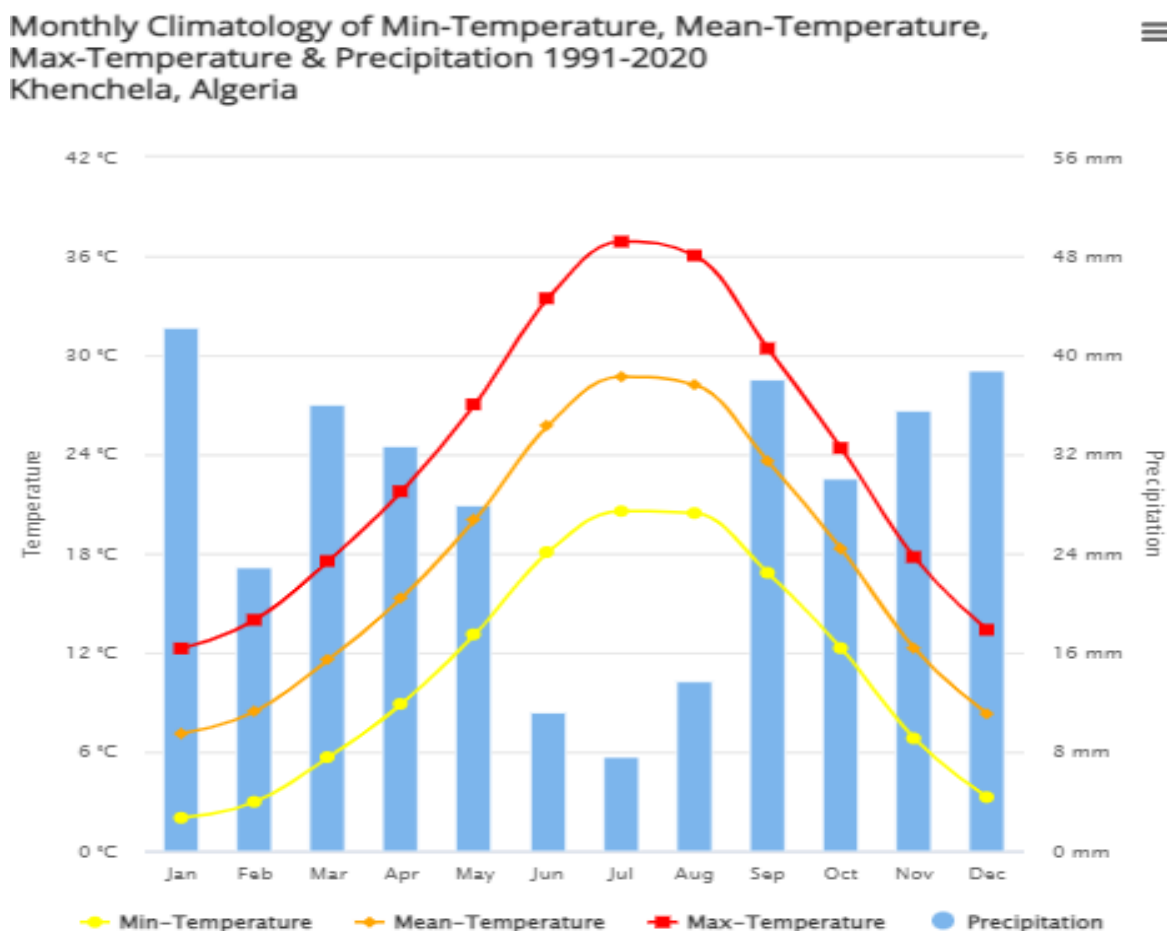


Figure 12 : Données climatiques de la wilaya de Khenchela (1991-2020) (source:climateknowledgeportal.worldbank).

3-Type de climat :

En raison de la variation spatiale des paramètres climatiques et de la nécessité de synthétiser, classer et comparer les types de climat et de végétation dans le monde, de nombreux auteurs ont proposé des formules, uniquement des nombres et des expressions graphiques différents, prenant en compte plus ou moins de facteurs (Lebourgeois, 2010). Ils ont d'abord été utilisés pour classer et cartographier les climats selon leur aridité par les hydrologues et les géomorphologues (Köppen, Lang, De Martonne, Rubner, Gaussen et Bagnols, Walter et Lieth, Moral, etc.) puis les botanistes et les écologistes (Emberger, Thornthwaite ...).

3-1-Climagramme d'EMBERGER :

Le climagramme d'EMBERGER permet de déterminer l'étage bioclimatique d'une station donnée. Il est déterminé à partir de la formule: $Q2 = 2000P / M2 - m$, dont

- P: précipitation annuelle (mm)
- M: la température maximale du mois le plus chaud en °C
- m: la température minimale du mois le plus froid en °C

En appliquant la formule suivante élaborée par Stewart pour l'Algérie et le Maroc, soit: $Q2 = 3.43 (P/M-m)$ (Stewart, 1969).

- Q: le quotient pluviométrique d'EMBRGER
- P: Pluviométrie annuelle moyenne en mm.
- M: Moyenne maximale du mois le plus chaud en °C
- m: Moyenne minimale du mois le plus froid en °C

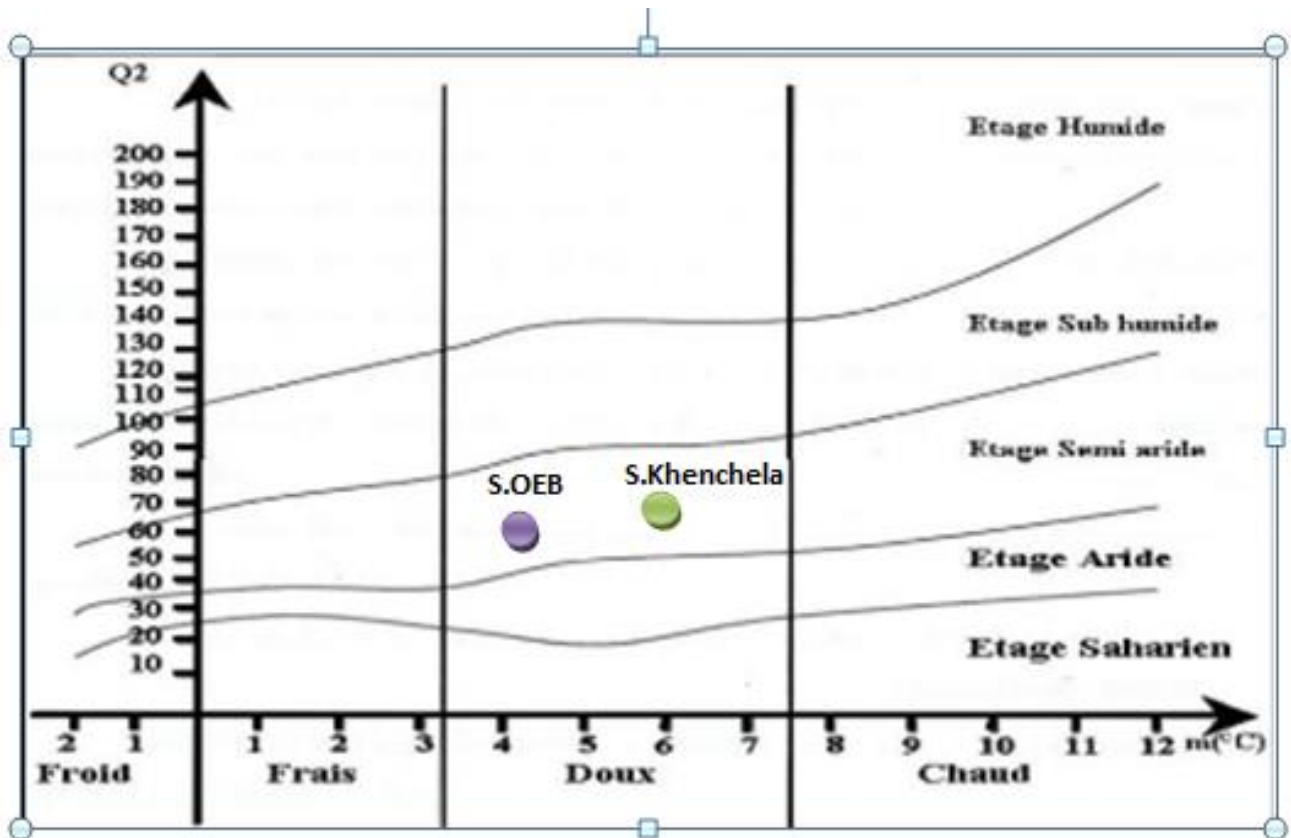


Figure 13 : le type de climat de la zone d'étude selon le climagramme d'emberger.

4- Conclusion :

Le climat de la région est de type semi-aride avec une composante d'altitude influencée par les courants d'air froid et humide en provenance des massifs des Aurès (maximum des précipitations en hiver et au printemps, couverture neigeuse peu durable mais parfois importante, saison sèche à orages brutaux en été, effet de barrage des reliefs, favorisant les précipitations sur les versants Sud). Les précipitations, moins importantes qu'en altitude, n'atteignent cependant que 350 mm par année. Les températures moyennes mensuelles varient entre 6°C et 26°C Le mois le plus froid est Janvier.

CHAPITRE 4:
CARTOGRAPHIE DE
SENSIBILITÉ A L'ÉROSION
HYDRIQUE

1-Introduction :

Ce chapitre va présenter les principaux paramètres influant sur le processus l'érosion en fonction de ces facteurs, des paramètres descriptifs du milieu peuvent être établis. Ces paramètres sont ensuite mis en relation pour obtenir des résultats d'analyse qui se rapprochent le plus possible de la réalité.

Finalement on aboutit à la réalisation d'une carte finale qui représente la vulnérabilité du bassin versant à l'érosion hydrique.

À l'aide des SIG, de multiples méthodes ont été développées pour décrire le milieu et pour étudier le phénomène de l'érosion. Ces méthodes, souvent basées sur l'analyse multicritères des photographies aériennes et des images satellites, carte géologiques, permettent de mieux comprendre et évaluer cette problématique environnementale.

Données :

L'évaluation de l'érosion du sol dépend des caractéristiques régionales de la zone, à savoir le climat, l'état du sol, l'utilisation/la couverture du sol, la topographie et la lithologie. Pour préparer des cartes de ces caractéristiques, les données utilisées dans cette étude sont collectées à partir de diverses sources. Le modèle numérique d'élévation (DEM) de 30 m de résolution de la zone d'étude a été téléchargé depuis ASTER GDEM. Il a été utilisé pour générer des paramètres topographiques. La carte géologique (1/100 000) de Khenchela a été utilisée pour numériser les formations géologiques. La carte du sol (1/500000) de Tebessa a été utilisée pour numériser les types du sol de la zone d'étude.

L'occupation du sol est générée à partir des données de la télédétection (Satellite Sentinel 2A). Les paramètres topographiques du bassin versant et les cartes des facteurs thématiques ont été extraits à l'aide du logiciel ArcGIS 10.8. (ESRI Inc 2020).

2-Approche méthodologique :

La première étape de notre démarche consiste à sélectionner les facteurs les plus représentatifs intervenant dans les phénomènes érosifs. Il s'agit de la topographie, caractérisée par le critère « inclinaison de la pente », de la nature du substrat, représentée par la géologie des formations superficielles, et de l'occupation du sol décrite par le couvert végétal, et le facteur climatique représenté par les précipitations. Le phénomène d'érosion est envisagé, dans le cadre de ce travail, du point de vue des surfaces émettrices de particules solides, et non pas du point de vue du transport de ces particules dans les cours d'eau et de leur dépôt à l'aval. Dans ce sens, nous considérons qu'il y a présence d'érosion à partir du moment où le risque de déplacement de particules est potentiel, sans préjuger du devenir ultérieur de ces particules. La méthodologie de modélisation et cartographie de l'aléa érosion est schématisée par la figure (14).

La deuxième étape est l'intégration des données représentatives des facteurs utilisées dans un environnement SIG. Dans cette étude il s'agit du logiciel ArcGis 10.8 (Esri Inc, 2020). L'utilisation des SIG permettent de spatialiser et caractériser le degré de sensibilité des sols à l'érosion sur l'ensemble de la zone d'étude .Les facteurs intervenants dans le phénomène de l'érosion ont été intégrés sous forme des couches d'informations. Ces couches sont ensuite reclassées qualitativement sous forme d'un indicateur de sensibilité qui varie de 1 a 4 en fonction de leur degré de contribution au phénomène d'érosion (Chevalier et al. 2001 ; Soti, 2003). Ensuite ces couches sont converties en données raster ou la taille des pixels est de 30 mètres. Ces couches sont hiérarchisées et combinés par l'analyse multicritères qualitative. Ces informations spatialisées sont regroupé dans une base de données pilotée par le logiciel ArcGIS® dans lequel sont intégrés les modules d'analyse spatiale et de modélisation.

Pondération des facteurs :

La pondération est effectuée selon l'approche de Roose 1977 qui consiste à attribuer à chaque facteur un indice allons de 1 à 4 relatives à la capacité de protection contre l'érosion hydrique.

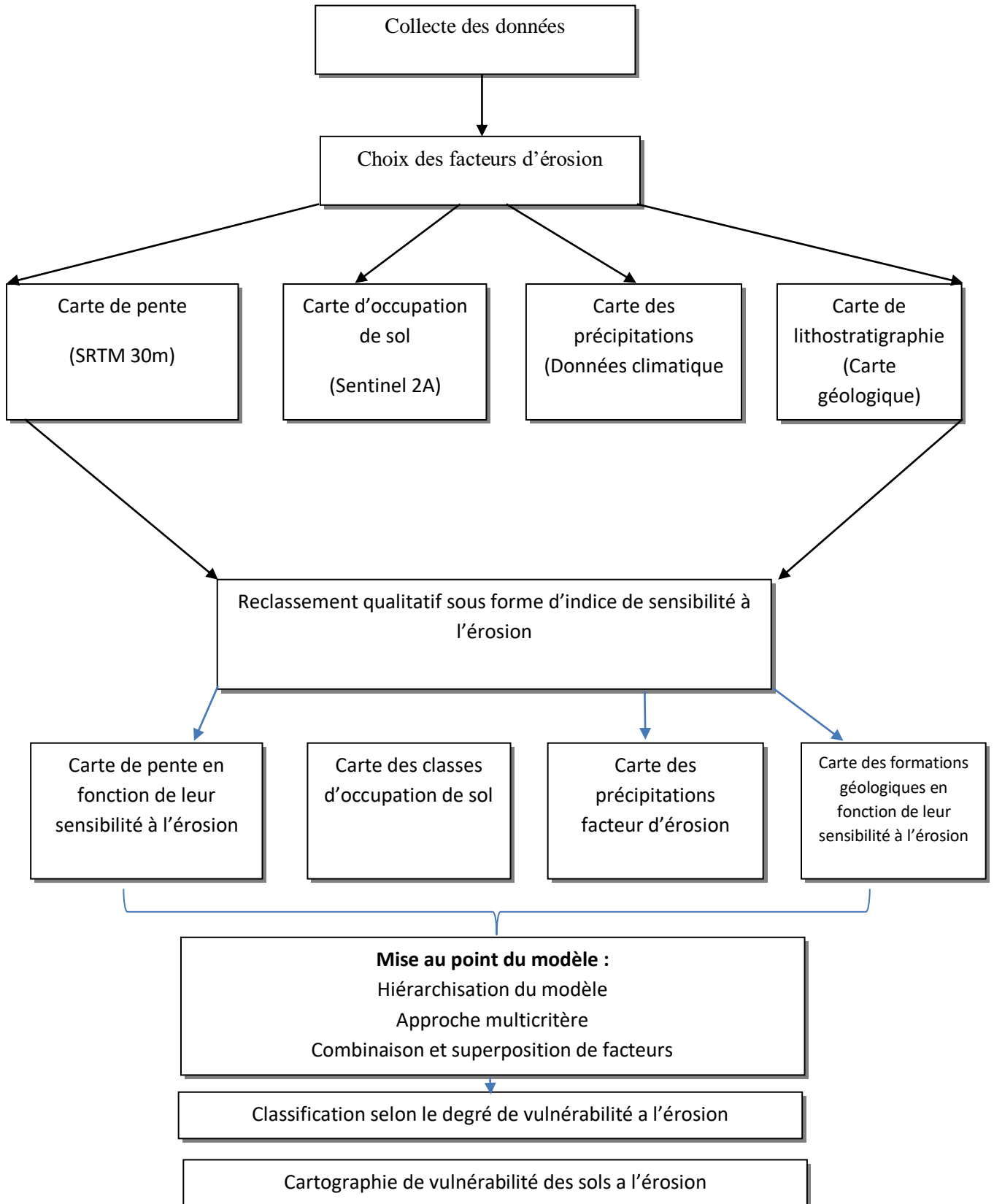


Figure 14 : Méthodologie de la cartographie de sensibilité des sols a l'érosion hydrique.

3- Résultats et discussion :

3-1 La pente :

Le premier facteur intervenant dans la sensibilité des sols à l'érosion est la pente. La déclivité de la pente (exprimé en %) exerce une influence variable sur le ruissellement. En contre partie à cause de l'augmentation de la puissance des écoulements quand ceci passe on dit que la forte pente favorise le phénomène de l'érosion.

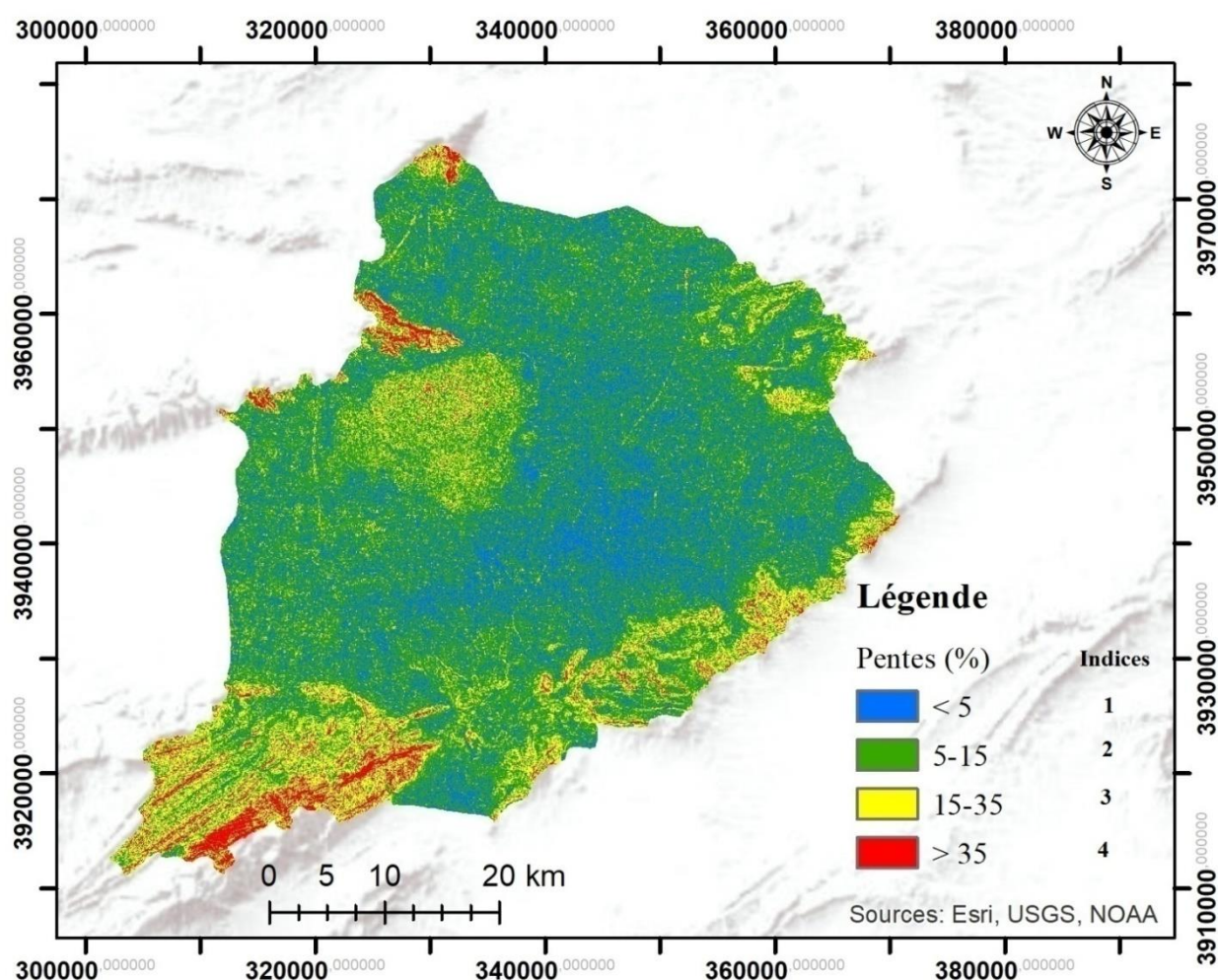


Figure 15 : Carte des pentes de la zone d'étude bassin versant de Garaet El Tarf (SRTM 30m).

Le facteur de la pente a été calculé à l'échelle du site d'étude à partir du modèle numérique de terrain de la zone d'étude. Une hiérarchisation en quatre classes en fonction de son influence sur les phénomènes érosifs (tableau 04) est définie :

Une déclivité de 0 à 5 % représente une sensibilité à l'érosion faible (avec un indice de 1), de 5 à 15 % une sensibilité moyenne (avec un indice de 2), une déclivité de 15 à 35 % sensibilité forte (avec un indice de 3) et de plus de 35 % une sensibilité très forte (avec un indice de 4).

Tableau 04 : Hiérarchisation des pentes selon leur déclivité (Roose 1977)

Pentes (en %)	Indice
> 35	4
15-35	3
5-15	2
<5	1

Le bassin versant de Garaet El Tarf (Fig.15) se caractérise par des pentes faibles et donc peu sensibles au phénomène érosif, alors que les alentours du bassin surtout la partie sud et sud-ouest (massif de Chilia) présente un relief escarpé très sensible à l'érosion.

3-2 Occupation du sol :

La végétation protège le sol contre l'érosion hydrique a travers plusieurs formes de protection soit par l'empêchement de la production de l'érosion soit retenir les sédiments érodés a l'amont.

Ce qui fait que la végétation est un paramètre essentiel lors de l'étude de l'érosion hydrique vue son rôle dans la protection des sols exposés à ce phénomène

Les tiges et troncs forment des obstacles qui ralentissent la vitesse du ruissellement, ce qui réduit le détachement par le ruissellement ainsi que sa capacité de transport. Les racines forment un réseau près de la surface qui tient le sol en place, augmentant ainsi sa résistance au détachement.

Les feuilles mortes et débris végétaux protègent la surface de l'impact des gouttes, ralentissent le ruissellement, et ajoutent de la matière organique au sol, ce qui le rend plus résistant à l'érosion.

-Elle dépend d'une part de la densité du couvert végétal. L'effet protecteur d'une culture agricole n'est souvent pas efficace avant environ 40-50% de couvert végétal et il y a peu de différences au-delà de 80-90%.

-Elle dépend, d'autre part, du type de végétation. (Figure 16).

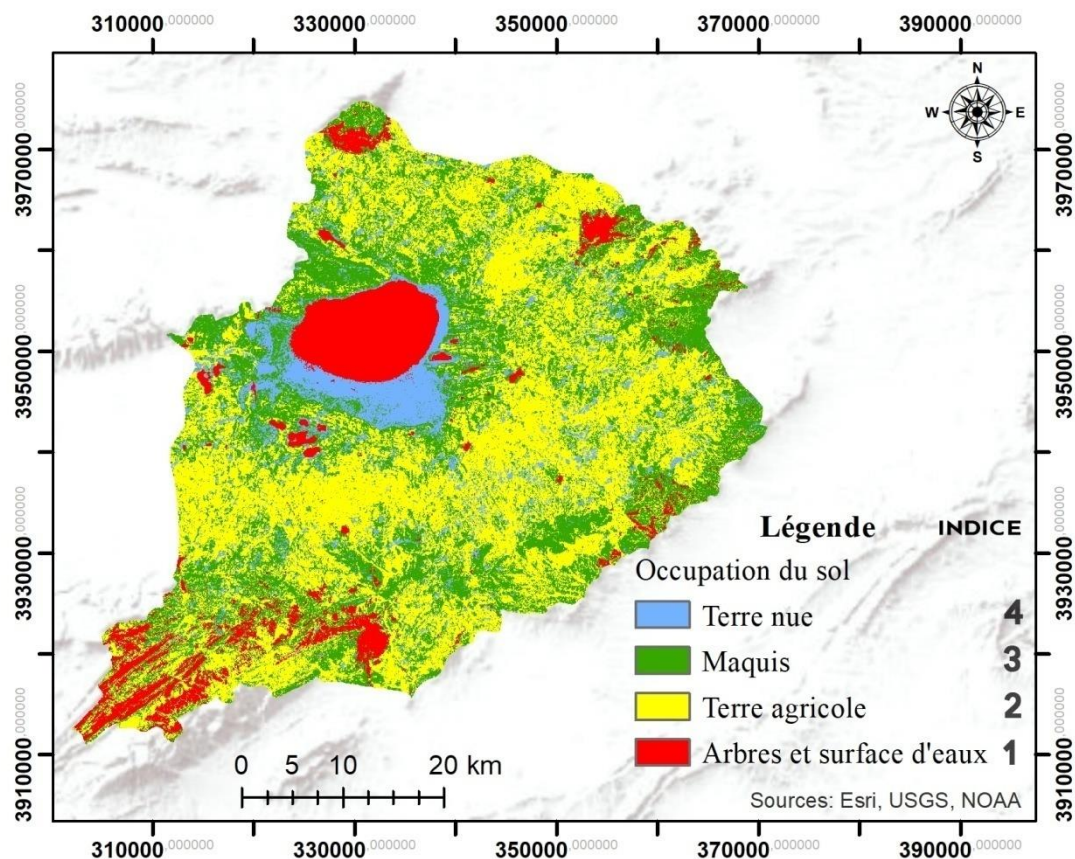


Figure 16 : Carte d’occupation de sol de la zone d’étude bassin versant de Garaet El Tarf (Sentinel 2A).

La carte d’occupation des terres (Fig.16) résultante du traitement de l’image Sentinel 2A (Classification supervisée) a permis de faire une analyse de l’état de couverture végétale du sol. Dans la zone d’étude l’occupation des sols est dominée par la classe des terrains agricole et nue qui occupe la quasi-totalité du bassin versant étudié. Elle se rencontre généralement sur des terres à pente très faible. Elle est éparpillée dans le secteur d’étude, essentiellement au centre et à la périphérie du bassin versant.

Tableau 05 : Hiérarchisation d’occupation du sol selon leur degré de protection (Roose 1977)

Catégorie	Degré de protection	indice
Terre nue	Non protecteur	4
maquis	Faiblement protecteur	3
Terre agricole	Moyennement protecteur	2
Arbre et surface d’eaux	Fortement protecteur	1

L'agriculture est l'activité principale dans le sous-bassin de Gareat El Tarf (zone d'élevage et la culture des céréales), occupe la majorité du bassin versant, ont un rôle modéré dans la protection contre l'érosion hydrique.

Les surfaces nue sont très sensibles à l'érosion qui sont éparpiller aux alentours de Sebka et occupe une grande partie au centre du bassin versant.

Cependant les forets et maquis sont remarquables dans les régions montagneuses qui entourent le bassin versant dans les montagnes de Sud-ouest (Massif de Chillia) et le sud vers Khenchela.

3-3 L'érosivité des pluies :

L'érosion des sols se développe lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, le ruisselle sur la parcelle en emportant les particules de terre. Ce refus du sol d'absorber les eaux en excédent apparaît soit lorsque l'intensité des pluies est supérieure à l'infiltrabilité de la surface du sol, soit lorsque la pluie arrive sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe d'eau (ruissellement par saturation). Ces deux types de ruissellement apparaissent généralement dans des milieux très différents, parfois l'on observe une combinaison des deux (Le Bissonais et al. 2002). Une fois le ruissellement déclenché sur la parcelle, l'érosion peut prendre différentes formes qui se combinent dans le temps et dans l'espace : l'érosion diffuse ou en rigoles parallèles et l'érosion linéaire ou concentrée dans le talweg.

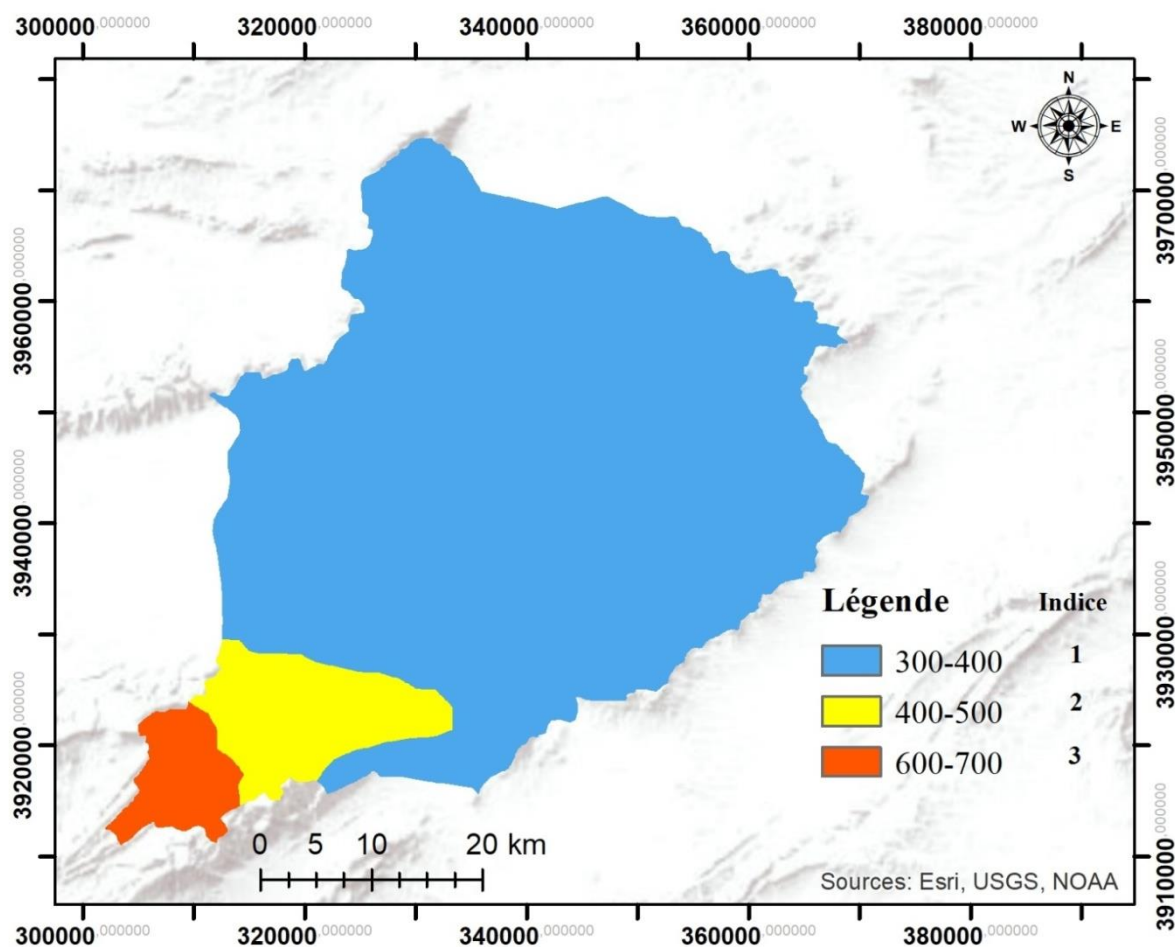


Figure 17 : Carte des précipitations de la zone d'étude bassin versant de Garaet El Tarf (Données climatique).

Les conditions climatiques dans le bassin de Garaet El Tarf y sont assez contraignantes, avec des précipitations annuelles relativement faible, avoisinant les 400 mm/an, et prenant le plus souvent un caractère orageux.

Tableau 06 : Hiérarchisation des hauteurs de la précipitation en mm

Précipitations (mm)	Indices
300-400	1
400-500	2
600-700	3

Avec les faibles pentes de la zone d'étude ceci affaiblit les effets dévastateurs de ces précipitations. Cependant durant les périodes de la crue (qui sont rare) l'érosion prend son effet. Vers le sud et le sud-ouest la hauteur des précipitations augmente (700 mm/an) au massif de Chellia.

3-4 La lithostratigraphie :

La lithologie est liée à la nature des formations superficielles, et à son impact sur l'érodibilité des terrains : quatre classes géologiques sont représentées sur la zone d'étude (tableau.07). Chacune d'elles est classée selon un indice d'érodibilité, s'appuyant sur les valeurs de références établies par Maurizot et Delfau (1995). Au travers de cette typologie, chaque formation géologique est analysée en termes de cohésion, de propriété hydrogéologique, de granulométrie et d'hétérométrie. La combinaison de ces paramètres détermine des classes d'érodibilité. La géologie des formations superficielles apporte des informations sur les produits d'altération en surface, dérivés de cette roche-mère, lorsqu'ils existent.

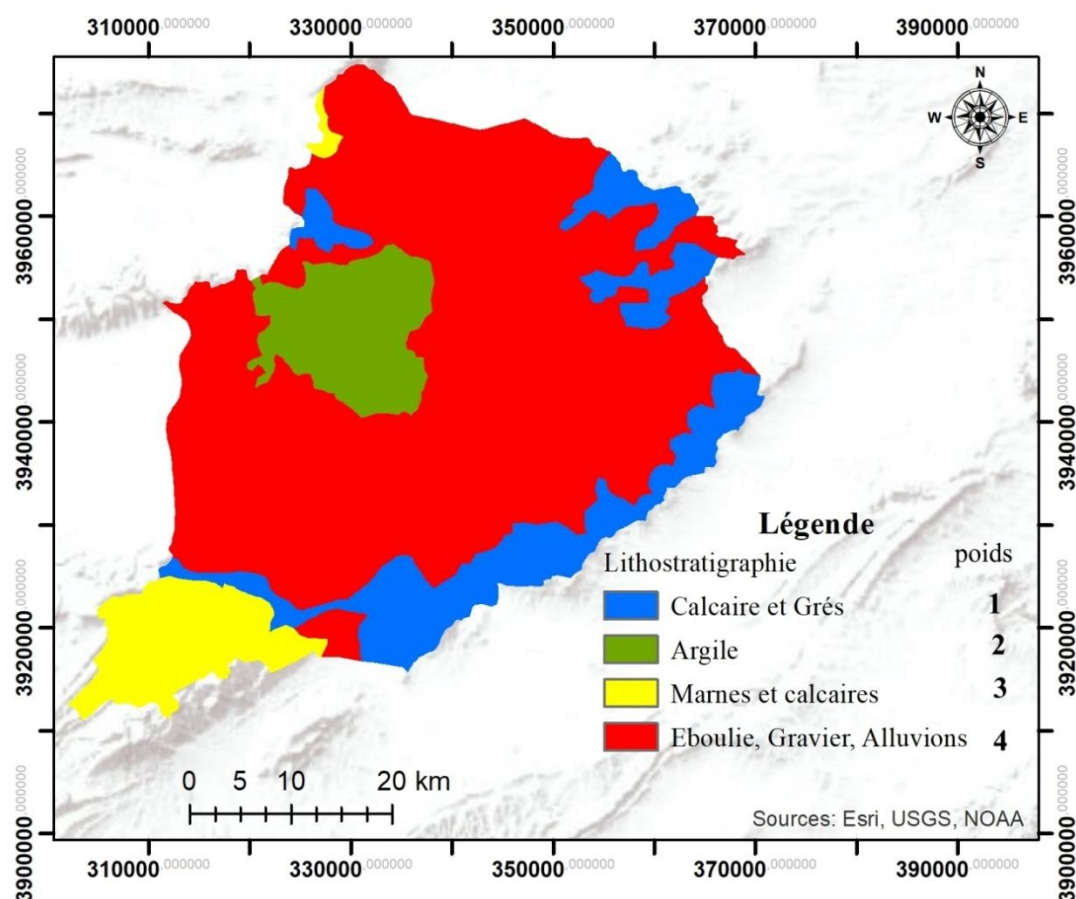


Figure 18 : Carte de la lithostratigraphie de la zone d'étude bassin versant de Garaet EL Tarf (Carte géologique).

La classification de sensibilité comprend, quatre classes ou on a attribué l'indice 1 aux classes de faible sensibilité et 4 aux calasses de très forte sensibilité à l'érosion hydrique comme suit (Tableau.07) :

Tableau 07 : Hiérarchisation des sols selon leur lithologie.

lithologie	Sensibilité	Indices
Calcaire et grés	Faiblement sensible	1
Argile	Moyennement sensible	2
Marnes et calcaire	Fortement sensible	3
Eboulie, Gravier, Alluvions	Très fortement sensible	4

Faible sensibilité : Calcaire et grés il se trouve dans les périphéries du bassin versant.

Moyenne sensibilité : Argile au aux alentours du Sebka.

Forte sensibilité : Marnes / Calcaire remarqué dans les montagnes du Sud-ouest et une partie dans les montagnes du Nord-Ouest.

Très forte sensibilité : La quasi-totalité de la zone du bassin versant caractérisée par la présence de L'eboulie et gravier et l'alluvion.

4- Carte de vulnérabilité l'érosion :

La combinaison des facteurs citez précédemment permet de réaliser un modèle général de la sensibilité a l'érosion hydrique. L'intersection des données prises en compte lors de l'érosion est basée sur l'association dans le modèle de maillage : chaque couche d'information est représentée par une image où la valeur de chaque maille est égale à la sensibilité à l'érosion du sujet considéré. L'ensemble de ces images forme un espace multi variable chacun de ces niveaux est systématisé comme il suit (faible, moyenne, forte , très forte pour la pente et pour la lithostratigraphie et non protecteur, faible protecteur , moyennement protecteur , fort protecteur pour l'occupation des sols).

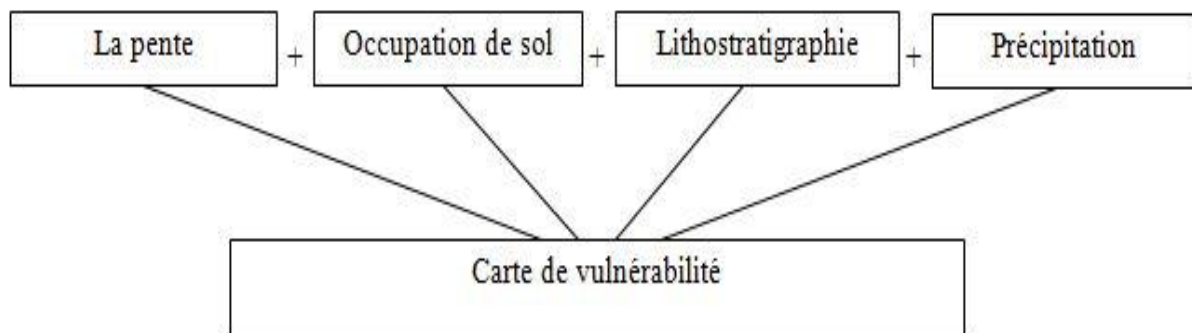


Figure 19 : Combinaison des paramètres.

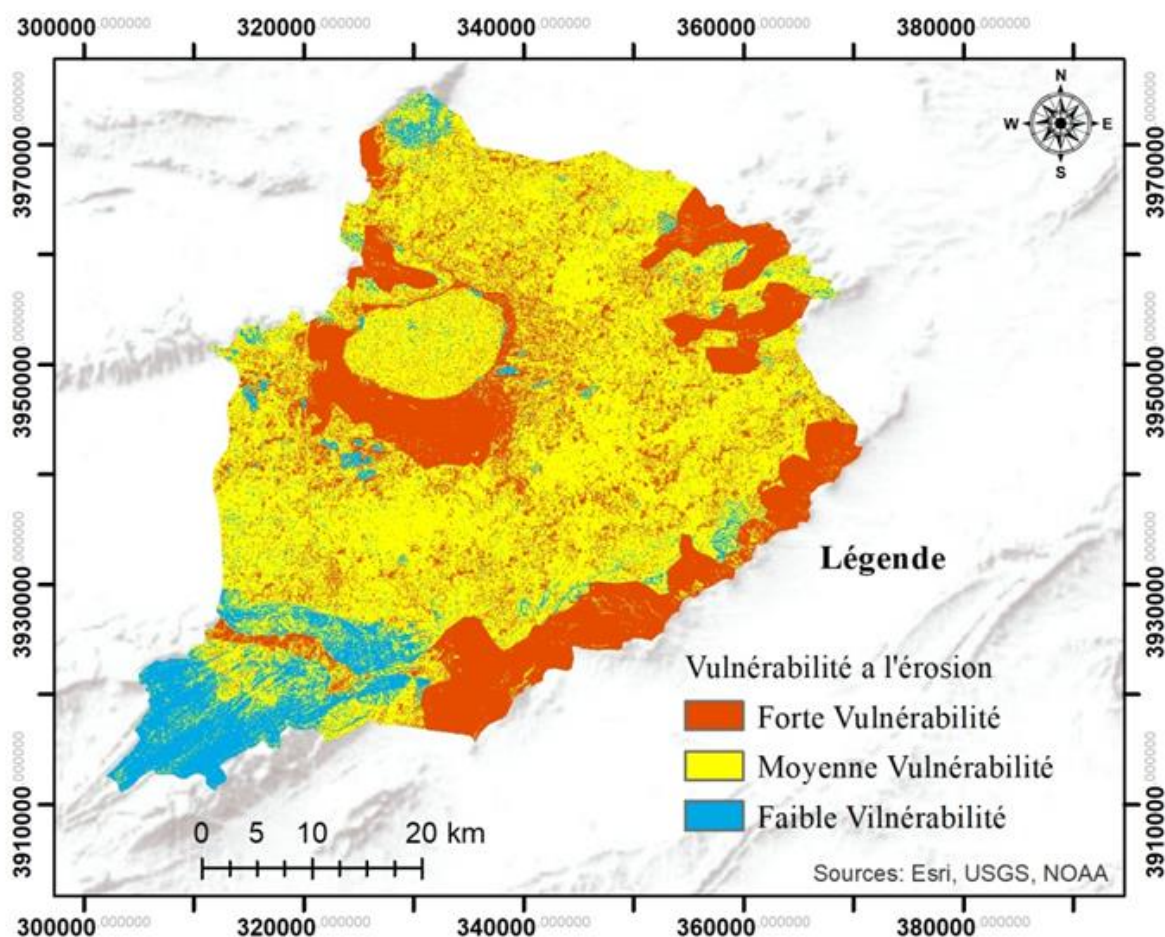


Figure 20 : Carte de vulnérabilité de la zone d'étude bassin versant de Garaet El Tarf.

La figure 20 est le résultat de la combinaison multicritère apporte une spécialisation de l'érosion potentiel du sol on remarque que la majorité du bassin versant est caractérisé par une moyenne Vulnérabilité à l'érosion hydrique.

-La zone à forte vulnérabilité à l'érosion hydrique couvre 32,5% du bassin versant, et elle est caractérisée par la présence du calcaire et les grès et aussi l'argile (l'argile dans la sebka).

Cette zone est caractérisée par des pentes raides et très raides et une végétation faible protectrice à moyennement protectrices.

-La zone à moyenne vulnérabilité à l'érosion hydrique occupe 56,9% du bassin versant, caractérisé par la présence d'éboulée, gravier et alluvions et une végétation moyennement protectrice (terre agricole) qui représente la plus grande partie. Les pentes de cette zone sont de très faibles.

-La zone à faible vulnérabilité à l'érosion hydrique représente 10,5% de la surface totale du bassin versant c'est la partie montagneuse caractérisée par les marnes et les calcaires occupée par des arbres et une végétation fortement protectrice, et les pentes dans cette zone sont assez raides.

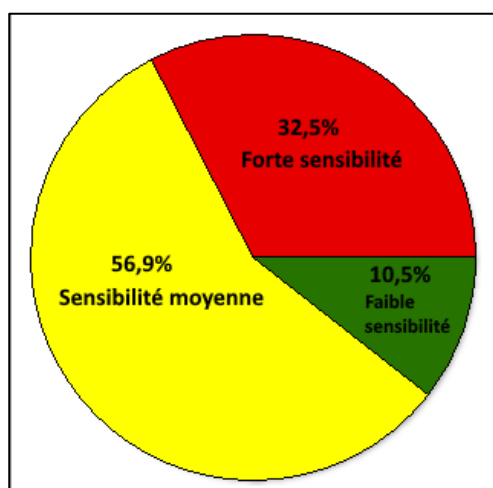


Figure 21: Degré de sensibilité en %

Ce constat est accentué d'une part par les érosivité par précipitations et terrain très accidenté avec de fortes pentes, qui favorise la formation du ruissellement ainsi que sa vitesse, sa capacité et accumulation de sédiments, et d'autre part, par les formations lithologiques vulnérables et dénudées et le couvert végétal fortement dégradé a cause des feu des forets et le climat semi-aride.

La carte de sensibilité à l'érosion hydrique intéresse particulièrement communautés locales ; il permet de visualiser les régions les plus menacées d'érosion qui nécessitent une gestion immédiate. C'est donc un outil pertinent qui serait complété par une approche quantitative.

5- Conclusion :

Cartographie des zones d'érosion hydrique la zone d'étude de bassin versant de Gareat El Tarf, A permet de distinguer trois types de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique.

Les zones de faible vulnérabilité couvrent 10,5% au sud ouest du bassin versant. Zones à moyenne Vulnérabilité 56,9% occupe le centre et les zones à forte vulnérabilité qui représente 32,5% de la zone d'étude située dans la partie sud et les alentour de la zone d'étude.

La méthode mise en œuvre conduit à une meilleure compréhension de la distribution spatiale de l'érosion. Toutefois, ce travail constitue la première étape vers une estimation plus précise de cet aléa. Cette modélisation, basée sur l'utilisation d'un SIG, permet de couvrir une vaste région d'analyse et présente l'avantage d'être relativement simple et donc aisément reproductible à d'autres territoires.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Cette étude aborde la question de l'érosion des sols dans le bassin du Grand El Tarf et fournit un document de base qui constitue une base de données multi-sources pour la région, utilisant les systèmes d'information géographique (SIG), un outil important pour la spatialisation des informations et la mise à jour des données.

Les éléments contenus dans les listes topographiques, les listes géologiques et les listes d'occupation des sols se croisent dans le SIG. L'analyse et la modélisation spatiale de la fragilité de la matrice lithologique, du couvert végétal, de la distribution annuelle moyenne des précipitations et de l'inclinaison des pentes permettent une compréhension claire de la gestion du bassin versant de Gareat El Tarf.

La carte de la vulnérabilité à l'érosion hydrique a permis de classer le risque a trois classes (La zone à faible vulnérabilité à l'érosion hydrique couvre 10.5% du bassin versant, La zone à moyenne vulnérabilité à l'érosion hydrique occupe 56,9 %, La zone à forte vulnérabilité à l'érosion hydrique représente 32,5% de bassin versant).

La méthode mise en œuvre permet de mieux décrire la répartition spatiale des zones vulnérable à l'érosion au sein du bassin versant. Afin d'améliorer cette précision des résultats, il serait intéressant d'actualiser les données et acquérir des données avec une résolution plus fine peut aboutir à des résultats plus précis. Il serait aussi pertinent de relever des mesures sur le terrain pour valider les méthodes employées.

Enfin et pour réduire la vulnérabilité a l'érosion Il y'a des plusieurs méthodes telle que :

L'amélioration de la structure du sol : L'amélioration de l'hydrofugation du sol consiste à améliorer la stabilité structurelle grâce à des amendements riches en humus.

Recours à l'aménagement anti-érosion pour limiter la concentration du ruissellement et créer des zones de dépôts en jouant le rôle de barrière et en déviant les écoulements.

Références bibliographiques

Aberkane, M (2014) Ecologie de la Sarcelle marbrée *Marmaronetta angustirostris* dans les zones humides de l'Est algérien. Université Badji Mokhtar – Annaba 149 pages

Batti, A (2005). Spatialisation des pluies extrêmes et cartographie de l'aléa érosion des sols dans les bassins en amont du lagon St-Gilles. Stage de master, Institut de recherche et développement, Nouméa, 55 p

Bagnouls, F. and Gaussen, H. (1957) Les climats biologiques et leurs classifications. Annales de Géographie, 66,193-220 : <https://doi.org/10.3406/geo.1957.18273>

Benzat, I (2013). Etude hydrochimique des eaux souterraines d'un bassin versant en zone semi-aride cas du bassin Garaet El Tarf pp. 3-13.

Berkane, A Yahiaoui, A (2007). L'érosion Dans Les Aurès Science et changements planétaires / Sécheresse. 2007;18(3):213-216. doi:10.1684/sec.2007.0083

Bénichou, P., Le Breton, O. (1987) Aurelhy : une méthode d'analyse utilisant le relief pour les besoins de l'hydrométéorologie Paris : ORSTOM, 1987, p. 299-304 (Colloques et Séminaires). ISBN 2-7099-0865-4 ISSN 0767-2896

Brazier, R.E., Turnbull, L., Wainwright, J., Bol, R (2013). Carbon loss by water erosion in drylands: implications from a study of vegetation change in the south-west USA. (05 February 2013) Hydrological processes vol 28, n°4

Boughalem, M., Mazour, M. & Zaagane, M., (2012). Utilisation des SIG pour l'aménagement du bassin versant de l'Isser (Nord Ouest de l'Algérie). In: Roose, E., Duchaufour, H. & De noni, G. (Eds.) Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles, IRD Editions, Marseille, 79-90

Biot, P. (1981) Les processus d'érosion à la surface des continents. Masso **(1986)** Ressources en eau et aménagement l'érosion hydrique et sa quantification, université de Paris XI, 183 pages

Chevalier, P Hébert, A Kaufmant, Y. Et Moyen, J (2001). Cartographie de l'aléa « érosion des sols » à la Réunion : caractérisation et cartographie des phénomènes érosifs. Rapport BRGM RP -51236-FR - 2001 SGR/REU 27. Saint-Denis : BRGM, 78 p.

Dali, N (2009). Ressources et gestion intégrée des eaux du bassin de gareat el tarf (w. Khenchela) 155pages

Dib, D (2018). Origine et caractérisation de la pollution des eaux dans le bassin tarf (NE-ALGERIEN). Université Larbi Ben M'hidi –Oum El Bouaghi 201 pages

Driesen, P.M (1986). Erosion hazards and conservation needs as a function of land characteristics and land qualities. In: W. Siderius, ed. Land evaluation for land-use planning and conservation in sloping areas. The Netherlands: ILRI, 3239.

De martone, E (1909). Traité de géographie physique: Climat, Hydrographie, Relief du sol, Biogéographie

Derruau, M (1974). *Précis de Géomorphologie*. In: *Noroi*, n°86, Avril-Juin 1975. pp. 288-290

https://www.persee.fr/doc/noroi_0029-182x_1975_num_86_1_3446_t1_0288_0000_2

Emberger, L (1930-1971). Essai de comparaison de diverses approches climatiques de la méditerranéité Daget, Ph., David., P (1982) *Ecologia mediterranea*

Fiche descriptive sur les zones humides, (2005) Ramsar , Gareat El Taref (Wilaya d'Oum El Bouaghi) Direction générale des forêts

Fleming, G (1977). The sedimentation problem, university of Strath- clyde june 1977, 10-81.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1478-4408.1977.tb03807.x>

Greco, J (1966). L'érosion la Défense et la Restauration des Sols, le Reboisement en Algérie. Publication du ministère de l'agriculture et de la réforme agraire, Alger. 393p. Mémoire magister extrait de : Arabi, M (Décember 2021) Les conséquences des pluies exceptionnelles sur le milieu dans le bassin versant d'Inaouène: Le cas du Pré-rif oriental.

Galevski, M (1955). La corrélation entre les pluies torrentielles et l'intensité de l'érosion. InÉcole Nationale des Eaux et Forêts, Station de Recherches et d'Expériences forestières, http://documents.irevues.inist.fr/bitstream/handle/2042/33567/AEF_1955_14_2_379.pdf?sequence=1

Houhamdi M., Bensaci E., Nouidjem Y., Bouzegag A., Saheb M. &Samraoui B. (2008). Eco-éthologie des Flamants roses *Phoenicopterusroseus* hivernants dans la Vallée de l'oued Righ, Sahara oriental algérien. *Aves* 45, 1, 15-27

Khalladi, M. Abdelkader, B., & Abderlkader, K (2011). Envasement du barrage de Bouhanifia (Algérie). Méthode hauteur-capacité et hauteur-superficie Page(s) 35-40.

Köppen, W (1900). Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. Geogr. Zeitschrift, 6, p. 657-679.

Koudded, M (2013). Cartographie des risques d'érosion hydrique des sols au moyen du Système d'Information Géographique Cas du bassin versant de l'oued Fergoug. Université Abdelahmid Ibn Badis – Mostaganem

Kinnell, P.I.A (2005). Raindrop-impact-induced erosion processes and prediction: 19 April 2005 a review. Hydrological Processes, 19 (14), 28152844

Latreche, B (2014). Contribution à l'étude et à la cartographie des zones sensibles à l'érosion hydrique du Mont de Saida Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen (UABT). 101 pages

Lebourgeois, F (2010). Sensibilité des écosystèmes forestiers tempérés français à la variabilité climatique et aux événements extrêmes : exemple du réseau Renecofor [article], pp. 21-28 (2010) Collection EDYTEM. Cahiers de géographie, numéro 11. Panorama de la dendrochronologie en France.

Lieth, H., Walter, H (1967) Klimadiagramm-Weltatlas Gustav Fischer Verlag

Laassab, A ., Kaoua, M (2018) .Cartographie de la salinité des eaux souterraines de la région Sud Bassin Garaet El Taref (Khenchla) .Université Abbes Laghrour –Khenchela, 76 pages

Laffite, R (1939). Structure et relief de l'Aurès (Algérie) 119 pp. 34-40

Le Bissonnais Y., Chenu C., Arrouays D. Et Cedron O., (2002). Mécanismes d'action des matières organiques sur la structure et l'érodibilité du sol. Colloque. International de Montpellier. 53 p

Le Bissonnais, Y., Thorette , J., Bardet, C., Et Daroussin, J (2002). L'érosion hydrique des sols en France. Orléans, INRA & IFEN, 105 p.

Le Bissonnais, Y (2001). Estimation des quantités de matière organique exogène nécessaires pour restaurer et entretenir les sols limoneux français à un niveau organique donné, 18 pages.

Maurizot, P ., Delfau, M (1995) - Cartographie de la sensibilité à l'érosion, Province Sud de Nouvelle-Calédonie. Rapport BRGM n° R 38660. BRGM : Nouméa, 72 planches.

Mabit, L ., Bernard, C & MR, Laverdière (2002) L'érosion hydrique: Méthodes et études de cas dans le Nord de la France Cahiers Agricultures 11(3):195-206

Meddi, M., Boukhari, Y. & Morsli, B (2005). Etude du ruissellement et du transport solide dans les Monts de Beni-Chougrane, Algérie : utilisation de la simulation de pluie. *Sediment Budgets 1* (Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguacu, Brazil, April 2005). IAHS Publ. 291 : 21-28

Metzmacher, M (1979). Les oiseaux de la Macta et de sa région (Algérie) : non passereaux. *Aves* 16, 89-123.

Morsli, B (1996). Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne cas des monts de Béni-Chougrane – Mascara. Thèse de magistère I.N.R.F EL, Harrach. p170. Mémoire magister : Koudded.M, 2013 : Cartographie des risques d'érosion hydrique des sols au moyen du Système d'Information Géographique Cas du bassin versant de l'oued Fergoug. Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem

Millington, D (1986). Negligence in weather forecasting *Weather* vol 41, no°6

Nearing, M.A., F.F. Pruski et M.R. O'Neal (2004). Expected Climate Change Impactson Soil Erosion Rates: A Review. *Journal of Soil and Water Conservation* 59(1):43-50

Peguy C. P., (1970) : Précis de climatologie. Paris, Masson, 2ème éd., 468 pages. *Revue Géographique de l'Est*, tome 11, n°2, Avril-juin 1971. Etudes de géographie physique.

Phillips, D.L (1993). Implications of Climate Change Scenarios for Soil Erosion Potential in the USA Land Degredation and Rehabilitation 4:61-72. *Journal of Soil and Water Conservation* July 1999, 54 (3) 529-536;

Paul-Hus, C (2011) : méthodes d'étude de l'érosion et gestion des sites dégradés en Nouvelle-Calédonie. Essai présenté au Centre de Formation en Environnement en vue de l'obtention du grade de maître en environnement (M. Env.) Centre universitaire de formation en environnement université de Sherbrooke. https://savoirs.usherbrooke.ca/bitstream/handle/11143/7374/cufe_Paul-Hus_C_12-07-2011_essai206.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rosse, E., Sabir, M. & Laouina, A., (2010). Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc. Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. IRD-ENFI-AUF, Montpellier, 343 p

Roose, É., De noni, G. (2004) - Recherches sur l'érosion hydrique en Afrique : revue et perspectives. *Sécheresse*, vol. 15, n° 1, p. 121-129. **(2012)** Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb p. 43-69

Remini, B (2000). L'envasement des barrages. Bulletin Réseau Erosion, 20: 165-171.

Roose, E (1977) - Érosion et Ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesure en parcelles expérimentales. Paris : ORSTOM, collection « Travaux et Documents », n° 78, 108 p.

Rubner, M (1854–1932) Nature 173:1023–1024 **(1954)**. <https://doi.org/10.1038/1731023c0>

Saheb, M (2003) Cartographie et rôle de la végétation dans le maintien de l'avifaune aquatique des sebkhas de Guellif et de Boucif (Oum-El-Bouaghi). Mémoire de magister en Ecologie et Environnement. Centre Universitaire d'Oum El-Bouaghi. 59p.

Soltner, D. (1992) : Les bases de la production végétale tome 2. Edit. Scien.et Tech.

Soti, V (2003) - Apport de la télédétection spatiale à la gestion intégrée du lagon de Saint-Gilles/La Saline à l'île de la Réunion. Un exemple d'application : cartographie et suivi des zones susceptibles à l'érosion des sols entre 1995 et 2002 par intégration de données Spot. Montpellier : SILAT, Mémoire de Master, 39 p.

Stewart, P. H (1969). Quotient pluviothermique et dégradation de la biosphère. Quelques réflexions.

Bulletin de la Société d'Histoire Naturelle d'Afrique du Nord, 59 : 23-37 **Naima, I-H Fatiha, A**

(2018). Croissance radiale et réponse au climat du pistachier de l'Atlas (*Pistacia atlantica* Desf.) dans le Parc national de Theniet El Had (Algérie)

Swcs (2003). Conservation Implications of Climate Change :Soil Erosion and Runoff From Cropland. A Report from the Soil and Water Conservation Society: http://www.swcs.org/t_advocacy_action2003

Thacker, P.D. (2004). As the Planet HeatsUp: Will the Topsoil Melt Away Journal of Soil and Water Conservation vol 59, n°1 12A-15A.

Thornthwaite, C.W (1948) an approach toward a rational classification of climate.The geographical review, vol XXXVIII, 1948, n°1, p. 55-94. Calcul automatique des bilans d'eau mensuels et annuels par les méthodes de Thornthwaite et de Turc par : **Bonnet, M Delarozière-Bouillin, O Jusserand, CI et Roux, P**

Vila, A (1977). “Analyse fonctionnelle et analyse morphotechnique,” Dialektikê. Cahiers de typologie analytique, 5, pp. 54-58,

Wang, G. Gertnera, G. Singh,V. Svetlana, S. Parysow, P. Anderson, A (15 July 2002). Ecologie modeling. Spatial and temporal prediction and uncertainty of soil loss using the revised universal soil loss equation: a case study of the rainfall–runoff erosivity R factor, Pages 143-155

Wischmeier et Smith 1978, (December 1978), Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning récupéré de pdf de site :

https://books.google.dz/books?hl=fr&lr=&id=rRAUAAAAYAAJ&oi=fnd&pg=PA5&dq=Wischmeier+et+Smith+1978&ots=cvovoOmmTS&sig=HeSxUbUDTBHCkump0soM5Y75suc&redir_esc=y#v=onepage&q=Wischmeier%20et%20Smith%201978&f=false

Webographie

Algérie (2005) (fichier pdf) (consulté Avril 2022)

https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/aquastat/pdf_files/DZA_algeria_cp.pdf

Conservation des eaux et du sol (consulté Mai 2022)

<http://www.bf.refer.org/toure/pageweb/erohydriy.htm>

Érosion par ravines (2020) (consulté Avril 2022) <https://www.aquaportail.com/definition-6287-erosion-par-ravines.html>

Érosion par rigoles (2020) (consulté Avril 2022) <https://www.aquaportail.com/definition-6284-erosion-par-rigoles.html>

Garaet El Tarf Service d'information sur les Sites Ramsar (2018) (consulté Mai 2022)

<https://rsis.ramsar.org/fr/ris/1421?language=fr>

L'érosion (Juin 2016) (fichier pdf) : (consulté Mars 2022)

<https://fac.umc.edu.dz/fst/pdf/cours/ame/gouachi1/7eme%20Cours%20erosion%20hydrique%20et%20eolienne.pdf>

<https://www.city-facts.com/> (consulté Juin 2022)

<https://unt.univ-cotedazur.fr/uoh/degsol/facteurs-erosion.php> (consulté Juin 2022) <https://unt.univ-cotedazur.fr/uoh/degsol/introduction.php> (consulté Juin 2022)

<https://www.infoclimat.fr/climatologie/normales-records/1991-2020/oum-el-bouaghi/valeurs/60421.html> (consulté Avril 2022)

<https://climateknowledgeportal.worldbank.org/country/algeria/climate-data-historical> (consulté Avril 2022)