



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة أبو بكر بلقايد - تلمسان



Université Abou Bekr Belkaid – TLEMCCEN
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض والكون
Faculté des Sciences de la nature et de la vie, des sciences de la terre et l'univers

Département d'Agronomie

Laboratoire de Recherche : Hydrologie appliquée et Environnement

THÈSE

Présentée en vue de l'obtention du Diplôme de
Doctorat en Sciences Agronomiques

Par :

MELALIH Ahmed

Thème

Étude des différents processus de dégradation du sol par l'érosion hydrique dans la région aride le cas du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, Wilaya de Naâma, Algérie.

Soutenue le :

Devant le jury:

Président : Mr. AMRANI Sidi Mohamed	Professeur	Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen
Directeur de Thèse : Mr. MAZOUR Mohamed	Professeur	Université BELHADJ Bouchaib de Ain Témouchent
Examineur : Mr. NEHARI Driss	Professeur	Université BELHADJ Bouchaib de Ain Témouchent
Examineur : Mr. BOUANANI Abderrezak	Professeur	Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen
Examineur : Mr. EL HAITOUM Ahmed	M.C.A	Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen

Année universitaire 2020/2021

Résumé

Le bassin versant aride de l'Oued Ain Sefra (1903,5 Km²) qui fait partie des Monts des Ksour présente de sérieux problèmes environnementaux, en particulier l'érosion hydrique. Celle-ci est un phénomène complexe résultant de l'action combinée d'agresseurs internes et externes sur la structure du patrimoine du sol. Cette étude vise à cartographier l'évolution spatio-temporelle de l'occupation des sols à partir de données de télédétection (images Landsat) sur une période de 19 ans (2000-2019) d'une part, et de la modélisation des processus d'érosion hydrique d'autre part, en identifiant les zones actives de ce phénomène dans le bassin versant aride de l'Oued Ain Sefra. La méthode utilisée est basée sur l'exploitation de données multi-sources (données pluviométriques sur la période 1980-2019, données topographiques, propriétés des sols, carte d'occupation des sols (2000 -2019) et images satellitaires). Ces données ont permis de modéliser la sensibilité potentielle de la zone à l'érosion hydrique à travers l'équation RUSLE qui a été intégrée dans un système d'information géographique. Les résultats obtenus montrent que les zones de sensibilité à l'érosion hydrique sont divisées en cinq classes : zones de très faible sensibilité (24%), zones de faible sensibilité (41%), zones de sensibilité modérée (25%), zones de forte sensibilité (9%) et zones de très forte sensibilité (1%). Cela montre que le risque de potentiel d'érosion hydrique moyen est estimé à 5,2 t/ha/an pour l'ensemble du bassin versant. Ainsi, les zones de sensibilité modérée à très forte couvrent cumulativement plus de 35 % du secteur et pourraient augmenter si la tendance à l'anthropisation du bassin se maintient. Elles sont principalement concentrées dans la partie sud-est et nord du bassin. Cette sensibilité est principalement due à l'agressivité des facteurs climatiques (intensité des pluies), à une forte pression anthropique, de nature agricole, qui provoque la réduction de la couverture végétale des parcours au profit de cultures dominées par les céréales, notamment l'orge (augmentation de 1,40% en 2000 à 7% en 2019) et à la modification du mode de pastoralisme dans le sens d'une tendance à la sédentarisation et à la disparition progressive du nomadisme.

Afin d'améliorer les conditions environnementales de ces bassins versants, les agropasteurs et l'État ont depuis longtemps fait des efforts pour les restaurer et les protéger par le biais de l'aménagement du territoire. L'objectif est de valoriser toute une série de pratiques et de techniques visant à sauvegarder les ressources en eau et en sols. Ce travail est basé sur l'identification et l'analyse du comportement des techniques de conservation de l'eau et des sols existantes dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, tant sur les terres cultivées que sur les parcours et les zones forestières. Cette carte de sensibilité à l'érosion hydrique générée, et l'analyse des techniques de conservation de l'eau et des sols constituent un outil d'aide à la décision qui permet aux gestionnaires ou aux planificateurs de la région de mieux orienter les travaux relatifs à la conservation de l'eau et des sols et à la lutte contre l'érosion.

Mots clés : Érosion hydrique, RUSLE, SIG, Occupation du sol, Conservation de l'eau et du sol, bassin versant aride, Ain Sefra, Algérie.

Abstract

The arid watershed of the Wadi Ain Sefra (1903.5 Km²) which is part of the Ksour Mountains presents serious environmental problems, particularly water erosion. This is a complex phenomenon resulting from the combined action of internal and external aggressors on the structure of the soil's heritage. This study aims at mapping the spatio-temporal evolution of land use from remote sensing data (Landsat images) over a 19 year period (2000-2019) on the one hand, and the modelling of water erosion processes on the other hand, by identifying the active zones of this phenomenon in the arid catchment area of the Wadi Ain Sefra. The method used is based on the exploitation of multi-source data (rainfall data over the period 1980-2019, topographic data, soil properties, land use map (2000 -2019) and satellite images). These data allowed the modeling of the potential sensitivity of the area to water erosion through the RUSLE equation which was integrated into a geographic information system. The results obtained show that the zones of sensitivity to water erosion are divided into five classes: very low sensitivity zones (24%), low sensitivity zones (41%), moderate sensitivity zones (25%), high sensitivity zones (9%) and very high sensitivity zones (1%). This shows that the risk of average water erosion potential is estimated at 5.2 t/ha/year for the entire catchment area. Thus, the moderate to very high sensitivity zones cumulatively cover more than 35% of the area and could increase if the trend towards anthropization of the basin continues. They are mainly concentrated in the south-eastern and northern parts of the basin. This sensitivity is mainly due to the aggressiveness of climatic factors (intensity of rainfall), to strong anthropic pressure, of an agricultural nature, which causes the reduction of the plant cover of the rangelands in favor of crops dominated by cereals, especially barley (increase from 1.40% in 2000 to 7% in 2019) and to the modification of the mode of pastoralism in the direction of a trend towards sedentarization and the gradual disappearance of nomadism.

In order to improve the environmental conditions of these watersheds, agropastoralists and the State have long made efforts to restore and protect them through land use planning. The objective is to develop a range of practices and techniques to safeguard water and soil resources. This work is based on the identification and analysis of the behavior of existing water and soil conservation techniques in the Wadi Ain Sefra catchment area, both on cultivated land and in rangelands and forest areas. This map of sensitivity to the water erosion generated, and the analysis of water and soil conservation techniques constitute a decision support tool that enables managers or planners in the region to better direct work on water and soil conservation and erosion control.

Keywords: Water erosion, RUSLE, GIS, Land use, Water and soil conservation, Arid watershed, Ain Sefra, Algeria.

دراسة العوامل المختلفة لتدهور التربة بفعل الانجراف المائي في المنطقة الجافة ، حالة الحوض المائي لوادي عين الصفراء ، النعامة ، الجزائر

يتعرض الحوض المائي الجاف لوادي عين الصفراء (1903.5 كيلومتر مربع) والذي يعتبر جزء من جبال القصور لمشاكل بيئية خطيرة، لا سيما التعرية المائية. هذه الظاهرة معقدة ناتجة عن العمل المشترك لعدة عوامل داخلية وخارجية في بنية هذا التراث والمتمثل في التربة. تهدف هذه الدراسة إلى رسم خريطة للتطور المكاني والزمني لاستغلال الأراضي باستخدام بيانات الاستشعار عن بعد (صور لاندسات) على مدى 19 عامًا (2000-2019) من ناحية، وإنشاء خريطة توزيع التآكل عن طريق المياه من خلال تحديد المناطق النشطة لهذه الظاهرة في الحوض المائي القاحل لوادي عين الصفراء. تعتمد الطريقة المستخدمة على استخدام البيانات متعددة المصادر (بيانات هطول الأمطار خلال الفترة 1980-2019، البيانات الطبوغرافية، خصائص التربة، خريطة استخدام الأراضي (2000-2019) وصور الأقمار الاصطناعية) من ناحية أخرى. أتاحت هذه البيانات الحصول على نموذج الحساسية المحتملة للمنطقة للتعرية المائية من خلال المعادلة العالمية لتقدير انجراف التربة (RUSLE) التي تم دمجها في نظام المعلومات الجغرافية. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن مناطق الحساسية للتعرية المائية مقسمة إلى خمس فئات: مناطق ذات حساسية منخفضة للغاية (24٪)، مناطق ذات حساسية منخفضة (41٪)، مناطق ذات حساسية معتدلة (25٪)، مناطق ذات حساسية عالية (9٪) ومناطق شديدة الحساسية (1٪). وهذا يدل على أن خطر متوسط إمكانية التعرية المائية يقدر بـ 5.2 طن / هكتار / سنة لكامل الحوض المائي. وبالتالي، فإن المناطق ذات الحساسية المتوسطة إلى الشديدة جدًا تغطي بشكل تراكمي أكثر من 35٪ من قطاع الدراسة ويمكن أن تزداد إذا استمر العامل الانساني نحو تدهور الحوض. هذه الحساسية تتركز بشكل رئيسي في الجزء الجنوبي الشرقي والشمالي من الحوض. وترجع هذه الحساسية بشكل أساسي إلى تأثير العوامل المناخية (شدة هطول الأمطار)، إلى الضغط البشري القوي، ذو طبيعة زراعية، مما يؤدي إلى تقليل الغطاء النباتي للمراعي لصالح المحاصيل التي تهيمن عليها الحبوب، ولا سيما الشعير (نسبة تطور من 1.40٪ عام 2000 إلى 7٪ عام 2019) وتعديل أسلوب الرعي نحو التوطين والاختفاء التدريجي للترحال.

من أجل تحسين الظروف البيئية للأحواض المائية هذه، يبذل المزارعون والدولة جهودًا معتبرة لإصلاحها وحمايتها من خلال وضع تخطيط استخدام الأراضي. الهدف هو تشجيع استخدام سلسلة كاملة من الممارسات والتقنيات التي تهدف إلى حماية موارد المياه والتربة. يعتمد هذا العمل على تحديد وتحليل سلوكيات تقنيات المحافظة على التربة والمياه الموجودة في الحوض المائي لوادي عين الصفراء، سواء في الأراضي المزروعة أو في المراعي والمناطق الغابية. تشكل خريطة الحساسية للتعرية المائية المتولدة، وتحليل تقنيات المحافظة على المياه والتربة أداة لدعم القرار حيث تسمح للمسؤولين أو المخططين في المنطقة بتوجيه العمل بشكل أفضل والمتعلقة بالمحافظة على المياه والتربة ومكافحة التعرية.

الكلمات المفتاحية: التعرية المائية، RUSLE، نظم المعلومات الجغرافية، استغلال الأراضي، الحفاظ على المياه والتربة، الحوض المائي الجاف، عين الصفراء، الجزائر.

Dédicace

À mon très cher père

Merci d'avoir été toujours là pour moi, un grand soutien tout au long de mes études. Tu as été et tu seras toujours un exemple à suivre pour tes qualités humaines, ta persévérance et ton perfectionnisme.

Que Dieu te guérisse

À une personne qui m'a tout donné sans compter. Aucun hommage ne saurait transmettre à sa juste valeur ; l'amour, le dévouement et le respect que je porte pour toi. À ma chère maman, à qui je souhaite une longue vie.

À ma chère épouse

Tu m'as toujours soutenu, compris et réconforté tu es et restera toujours ma source d'inspiration. Puisse Dieu nous préserver du mal, nous combler de santé, de bonheur et nous procurer une longue vie pour le service de Dieu. . . .

À ma petite perle IKRAM et à mon fils AYMAN

Vos joies de la vie et vos sourires ont été le meilleur encouragement que j'ai pu recevoir.

Que mon Dieu vous garde et vous protège

À mes très chers frères et à mes belles sœurs

À mes très chers beaux parents

Je vous dédie cette thèse tout en vous souhaitant une longue vie pleine de réussite, de santé et de bonheur. . . .

Une thèse est le fruit de plusieurs années d'études et je ne saurais oublier dans mes dédicaces l'ensemble de mes professeurs et maîtres qui ont contribué de près ou de loin dans l'élaboration de ce travail.

MELALQH Ahmed

Remerciements

Louange à **ALLAH**, Seigneur tout puissant de m'avoir aidé pour venir au terme de ce travail et de surmonter toutes les difficultés et de m'avoir accordé ce privilège pour suivre le chemin de la science et du savoir.

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce au concours de plusieurs personnes à qui je voudrais témoigner toute ma gratitude.

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse, Monsieur le Professeur **MAZOUR Mohamed** Université **BELHADJ Bouchaib** de Ain Témouchent, pour la confiance qu'il m'a accordée en acceptant d'encadrer ce travail doctoral, pour l'aide inestimable qu'il m'a apporté sur le plan scientifique, sa rigueur pour le travail bien fait, ses suggestions pertinentes dans la recherche et sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui ont contribué à alimenter ma réflexion. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude pour sa passion à la recherche qu'il a su me transmettre.

Mes sincères remerciements aux membres du jury pour toute l'attention qu'ils ont bien voulu accorder à ce travail :

- Mr. **AMRANI Sidi Mohamed**, Professeur à l'Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen ; pour m'avoir fait l'honneur et l'immense plaisir d'accepter de présider le jury de cette thèse.
- Mr. **NEHARI Driss**, Professeur à l'Université **BELHADJ Bouchaib** de Ain Témouchent, d'avoir accepté de juger ce travail et d'apporter ses critiques tant constructives.
- Mr. **BOUANANI Abdelrezak**, Professeur à l'Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen ; qui a bien voulu être membre de ce jury. Je remercie chaleureusement pour avoir bien voulu examiner ce travail.
- Mr. **EL HASTOUM Ahmed**, Maître de conférences à l'Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen ; d'avoir bien voulu faire partie de ce jury, trouvez Monsieur le témoignage de ma profonde gratitude.

Je tiens à remercier également le corps enseignant et le personnel du Département d'Agronomie de l'Université de Tlemcen, et toute l'équipe du laboratoire Hydrologie appliquée et Environnement, de Université Belhadj Bouchaib de Ain Témouchent.

J'exprime toute ma profonde gratitude à tous ceux qui m'ont apporté leur aide sous formes diverses, aux services des différentes directions de la wilaya de Naâma qui ont ouvert leurs portes nous permettant de mener à terme notre travail :

- Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires de la wilaya de Naâma ;
- Direction des Services Agricoles de la wilaya de Naâma ;
- HCDS de la wilaya de Naâma ;
- Conservation des forêts de la wilaya de Naâma.

Je remercie également toute l'équipe pédagogique ; mes collègues enseignants chercheurs au département des sciences de l'Agronomie de l'Université de Djillali Liabès de Sidi Bel Abbès. Merci et veuillez recevoir mes respects.

Je voudrais remercier mes chers parents pour leur amour, leur soutien constant et leurs encouragements. Je remercie affectueusement, toute la famille **MELALGH** et la famille **TADJER** pour leurs encouragements à poursuivre cette longue route.

Ma reconnaissance et mes vifs remerciements vont en particulier à ma femme **Wafa** pour sa patience, son soutien quotidien indéfectible et son enthousiasme à l'égard de mes travaux comme de ma vie en général surtout dans les moments difficiles.

A tous ceux qui, de loin ou de près, ont contribué directement ou indirectement à cette recherche, j'adresse tous mes remerciements.

MELALGH Ahmed

Liste des figures

Figure 1.	Forme et conséquence de l'érosion éolienne ; a : Tempête de sable à Sfissifa b : Ensablement de la route communale Sfissifa-Lamkheizen.....	011
Figure 2.	Les différents processus de l'érosion hydrique et leurs conséquences (Leguédouis, 2003).....	014
Figure 3.	Mécanismes de l'érosion hydrique et l'impact d'une goutte d'eau sur la surface du sol (effet splash) (Source Thibault Lorin <i>et al.</i> 2018)	014
Figure 4.	Erosion en nappe, l'impact des gouttes détache des particules mobiles qui seront par la suite évacuées par ruissellement.....	016
Figure 5.	Erosion en rigole au sens de la pente sur le versant Sud de Djebel El Hairech (Belguered) a : sur parcours et b : sur une parcelle.....	018
Figure 6.	Processus de ravinement en relation avec leur typologie (Roose, 1994)	019
Figure 7.	Erosion par ravinement sur le site de Sfissifa, malgré l'existence d'un seuil en gabion en amont.....	020
Figure 8.	Erosion par sapement des berges de l'Oued Sfissifa ; a : lors d'une crue b : lors de la décrue.....	021
Figure 9.	Téledétection : schéma général de fonctionnement.....	028
Figure 10.	Techniques des aménagements de correction de la pente.....	036
Figure 11.	Structures de dérivation et du stockage des eaux.....	038
Figure 12.	Techniques et aménagements culturaux de CES.....	041
Figure 13.	Exemples de localisations typiques de protections torrentielles dans un bassin versant et fonctions principales associées (Source : Piton <i>et al.</i> , 2019)	049
Figure 14.	Techniques de correction torrentielle (mécanique et biologique)	055
Figure 15.	Ouvrages hydrauliques de gestion des eaux de ruissellement (retenue collinaire)	056
Figure 16.	Localisation géographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	060
Figure 17.	Carte géologique du bassin versant l'Oued Ain Sefra ; extrait de la carte géologique d'Algérie (2 ^{ème} édition. Echelle :1/500 000e éditée par M.M Cornet A. <i>et al.</i> , 1952) modifiée.....	062
Figure 18.	Carte des sols de la zone d'étude ; extraire de la carte des sols d'Afrique 1/5 000 000e, feuille 6 (D'hoore et Dutil, 1963), modifiée.....	064
Figure 19.	Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	065
Figure 20.	La courbe hypsométrique et diagramme des fréquences.....	069
Figure 21.	Carte hypsométrique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	070
Figure 22.	Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	075
Figure 23.	Carte de localisation des fosses pédologiques dans la région d'étude.....	077
Figure 24.	Fréquences des expositions des versants.....	078
Figure 25.	Classification du chevelu hydrographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra selon STRAHLER (1957).....	080
Figure 26.	Cours d'eau principal du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	081
Figure 27.	Carte de répartition de différentes stations météorologiques de la zone d'étude.....	088
Figure 28.	Précipitations moyennes mensuelles de trois stations météorologiques Ain Sefra, Naâma et Mécheria (période 1989-2018)	093
Figure 29.	Évolution des précipitation moyennes du mois de Mars et d'Octobre en mm (1989-2018).....	094
Figure 30.	Évolution annuelle de précipitations (1989-2018)	095

Figure 31.	La rose du régime annuel des vents dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra (1985 – 2015) Source (Bouarfa, 2019)	098
Figure 32.	Climagramme pluviothermique d'Emberger de trois stations d'étude.....	101
Figure 33.	Variation des courbes de différents diagrammes ombrothermiques dans les trois stations.....	103
Figure 34.	Organigramme de l'approche utilisée pour l'évaluation des pertes en sols.....	109
Figure 35.	Démarche de spatialisation de l'occupation du sol entre 2000 et 2019.....	111
Figure 36.	Schéma méthodologique pour la réalisation des cartes d'occupation du sol.....	117
Figure 37.	Carte d'occupation des sols du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Mai 2000)	119
Figure 38.	Carte d'occupation des sols du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Mars 2019)	120
Figure 39.	Évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de 2000 à 2019.....	121
Figure 40.	Répartition en superficie de différentes classes d'occupation du sol en 2000 et 2019.....	122
Figure 41.	Carte d'implantation des transects et les relevés floristiques selon le biotope.....	127
Figure 42.	Répartition de la superficie alfatière (Ha) dans la wilaya de Naâma par commune (2014).....	128
Figure 43.	Évolution de la population occupée par commune de la Wilaya de Naâma.....	134
Figure 44.	Répartition spatiale de la population occupée par commune de la Wilaya de Naâma à travers notre Bassin versant (en 2016)	136
Figure 45.	Répartition spatiale de la densité de la population occupée par commune de la Wilaya de Naâma à travers notre bassin versant (en 2016)	137
Figure 46.	Production végétale en qx de la wilaya de Naâma (2014) ; source DSA, 2015.....	145
Figure 47.	Répartition spatiale du cheptel par commune de la Wilaya de Naâma (2014)	147
Figure 48.	Distribution du cheptel ovin selon le mode d'appropriation chez les agropasteurs de la wilaya de Naâma (Source D.S.A, 2015)	148
Figure 49.	Activités économiques et des sites naturels dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	150
Figure 50.	Organigramme de la méthodologie utilisée, basée sur l'équation RUSLE et le SIG.....	159
Figure 51.	Carte des classes du facteur R du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	160
Figure 52.	La carte du facteur K du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	161
Figure 53.	La carte du facteur LS du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	162
Figure 54.	Valeurs de l'indice NDVI au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	163
Figure 55.	Cartographie du facteur C dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	164
Figure 56.	Cartographie du facteur P dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	165
Figure 57.	Taux de perte du sol par classes pour le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	166
Figure 58.	Carte des pertes du sol (t/ha/an) et classes de risque d'érosion dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	167
Figure 59.	Carte de répartition des aménagements hydrauliques à travers notre zone d'étude.....	175
Figure 60.	Différentes techniques antiérosives biologiques introduites dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	178

Liste des tableaux

Tableau 1.	Appellation des lignes d'écoulement (Roose <i>et al.</i> , 1994)	017
Tableau 2.	Programmes et plans de 1962 à 1990 (Source : O.N.C.L.C.D, 2004)	045
Tableau 3.	Répartition altimétrique du bassin de l'Oued Ain Sefra par tranche d'altitude.....	068
Tableau 4.	Détermination de l'altitude moyenne.....	070
Tableau 5.	Paramètre de calcul de l'indice de la pente de Roche Ip.....	072
Tableau 6.	Classification d'O.R.S.T.O.M de l'indice de la pente globale (Ig)	073
Tableau 7.	Classification de la dénivelée spécifique (Ds) d'après l'O.R.S.T.O.M.....	074
Tableau 8.	Les classes de pentes et leurs superficies.....	075
Tableau 9.	Classes des expositions en fonction de leurs superficies.	076
Tableau 10.	Classification des cours d'eau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	080
Tableau 11.	Le rapport de confluence (Rc) et des longueurs (RL) du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	083
Tableau 12.	Récapitulatif des caractéristiques géométriques et morpho métriques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	085
Tableau 13.	Caractéristiques géographiques de stations météorologiques de la région étudiée.....	087
Tableau 14.	Répartition des précipitations moyennes mensuelles en mm.....	089
Tableau 15.	Températures moyennes mensuelles (en °C)	090
Tableau 16.	Classes de l'indice d'aridité de De Martonne.....	090
Tableau 17.	Types de climats en fonction de l'amplitude thermique moyenne.....	091
Tableau 18.	Pluviométrie moyenne annuelle durant les deux périodes d'étude.....	092
Tableau 19.	Régimes pluviométriques saisonniers de l'ancienne période.....	095
Tableau 20.	Régimes pluviométriques saisonniers de période récente.....	095
Tableau 21.	Régime saisonnier de trois stations durant les deux périodes.....	096
Tableau 22.	Écarts thermiques de la zone d'étude entre les deux période (1913-1938 et 1989-2018)	097
Tableau 23.	Continentalité thermique de trois stations d'étude.....	099
Tableau 24.	L'indice d'aridité de De Martonne.....	100
Tableau 25.	Valeurs du quotient pluviométrique (Q2)	101
Tableau 26.	Les données utilisées dans la quantification des pertes en sols.....	107
Tableau 27.	L'occupation du sol en % du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (2000 et 2019)	118
Tableau 28.	Évolution de l'occupation du sol en fonction du temps dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra..	121
Tableau 29.	L'indice de Kappa et Matrix de confusions de l'occupation du sol.....	125
Tableau 30.	Répartition de la superficie forestière (Ha) dans la wilaya de Naâma par espèce et par commune (2014) (Source : D.P.S.B, 2015)	127
Tableau 31.	Répartition de la superficie forestière et Alfatière (Ha) dans la wilaya de Naâma par commune (2014) (Source : D.P.S.B, 2015)	128
Tableau 32.	Situation des reboisements (depuis la création de la wilaya) par commune au 31/12/2014 (D.P.S.B, 2015).....	130
Tableau 33.	Évolution de la population aux différents recensements par communes de wilaya de Naâma (entre RGPH 1977 et 2016) Source : (D.P.S.B, 2017)	133

Tableau 34.	La densité de la population de la wilaya de Naâma par commune (au 31/12/2016) Source (D.P.S.B, 2017).....	135
Tableau 35.	La répartition de la population sédentaire et nomade dans la wilaya de Naâma par commune (2016).	139
Tableau 36.	Situation du FNDA dans la Wilaya de Naâma au 31/12/2014 (Source DSA, 2015)	143
Tableau 37.	Répartition des terres agricoles (ha) par commune au 31/12/2014 (Source : DSA, 2015).....	144
Tableau 38.	Description des données utilisées pour l'estimation des pertes en	154
Tableau 39.	Précipitations moyennes annuelles enregistrées dans les stations pluviométriques situées dans notre zone d'étude (période : 1980-2019) (Source: ANRH, 2020)	155
Tableau 40.	Estimation du facteur K dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	157
Tableau 41.	Valeurs de "m" relatives à chaque classe de pente ; Source Wischmeier & Smith (1978)	158
Tableau 42.	Valeurs du facteur P par type de culture et de pente (Source : SHIN, 1999)	159
Tableau 43.	Récapitulation des aménagements mécaniques réalisés au bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	175
Tableau 44.	Récapitulation des aménagements biologiques (reboisements) réalisés durant la période (1986- 2014) (Source: Conservation des forêts, 2015)	177
Tableau 45.	Résultats de l'analyse des techniques traditionnelles « Zone de Sfissifa »	179
Tableau 46.	Résultats de l'analyse des techniques traditionnelles « Zone de Belguered »	179
Tableau 47.	Résultats de l'analyse des techniques traditionnelles « Zone de Ain Sefra »	180
Tableau A.	Récapitulatif des caractéristiques des seuils en pierres sèches.....	Annexes
Tableau B.	Récapitulatif des caractéristiques des seuils en gabion.....	Annexes
Tableau C.	Récapitulatif des retenues collinaires réalisées dans notre zone d'étude.....	Annexes

Liste des Abréviations

A.N.R.H.	Agence Nationale des Ressources Hydriques.
°C	Degré Celsius
CES	Conservation de l'Eau et du Sol
C.F.	Conservation des Forêts.
C.F.P.A	Centre de formation professionnelle et d'apprentissage
D.G.F.	Direction Générale des Forêts.
D.P.S.B.	Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires de la wilaya de Naâma.
DEM	Digital Elevation Model.
DRS	Défense et Restauration des Sols
D.S.A	Direction des Services Agricoles.
F.A.O	Food and Agriculture Organization
F.N.R.D.A.	Fonds National de Régulation et Développement Agricole
GCES	Gestion conservatoire de l'eau et de la biomasse et de la fertilité des sols
GPS	Global Positioning System.
Ha	Hectares
HCDS	Haut-Commissariat au Développement de la Steppe
HWSD	Harmonized World Soil Database
INRF	Institut National de Recherche Forestière
°K	Degré Kelvin
MADRP	Ministère de l'agriculture et de développement rural et de la pêche
MNA	Modèle Numérique d'Altitude.
MNT	Modèle Numérique de Terrain.
MO	Matière organique.
NASA	National Aeronautical and Space Administration (Etats-Unis).
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index (Indice de végétation)
O.N.M.	Office National Météorologique.
O.R.S.T.O.M.	Office de Recherches Scientifiques et Techniques d'Outre-Mer (France)
PIB	Produits intérieurs bruts.
PNDA	Plan National de Développement Agricole.
PNR	Programme national de reboisement
PPDRI	Projet de proximité de développement rural intégré
Qx	Quintaux
RGPH	Recensement Général de la Population et de l'Habitat.
RTM	Restauration des terrains de montagnes
RUSLE	Revised Universal Soil Loss Equation (Equation universelle de perte de terre révisée)
SAU	Surface Agricole Utile.
S.I.G.	Système d'Information Géographique.
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission.
T.A.G.	Taux d'Accroissement Général.
Tup-Himo	Travaux d'utilité publique à haute intensification de la main d'œuvre
USA	United state americain
USLE	Universal Soil Loss Equation (Equation universelle de perte de terre)
UTM	Universal Transverse Mercator
WGS 84	World Global System 1984 (Système Global Mondial 1984)
WOCAT	World Overview of Conservation Approaches and Technologies.

Table des matières

Résumé	i
Abstract	ii
ملخص	iii
Dédicace	iv
Remerciements	v
Liste des figures	vi
Liste des tableaux	viii
Liste des abréviations	x
Introduction générale	1

Partie I

Analyse bibliographique

Chapitre I

Érosion, Définition, Origine et Mécanisme

Introduction	7
I.1. Le phénomène de l'érosion	8
I.2. Typologie de l'érosion dans un contexte d'aridité	9
I.2.1 L'érosion éolienne	9
I.2.1.1 Les facteurs de l'érosion éolienne	9
A. Les vents	9
B. Facteur homme	10
I.2.1.2 Mécanisme de l'érosion éolienne	10
I.2.1.3 La lutte contre l'érosion éolienne	11
I.2.2. L'érosion mécanique sèche	12
I.2.3. L'érosion hydrique, origine et mécanisme	12
A. Arrachement des particules	14
B. Transport du sol	15
C. Sédimentation	15
I.2.3.1 Les formes d'érosion hydrique	15
a. Erosion due aux eaux de surface	15
a.1 Erosion en nappe (<i>Sheet erosion</i>)	15
a.2. L'érosion en griffe et en rigoles (érosion linéaire)	16
a.3. Erosion par ravinement (<i>Gully erosion</i>)	18
a.4 L'érosion des berges (hydrographique)	20
b. Erosion due aux eaux d'infiltration	21
b.1 La reptation du sol	21
b.2 Le glissement de terrain	21
b.3 la solifluxion	21
b.4 L'érosion du sous-sol ou érosion en tunnel	21
I.2.3.2 Les facteurs de risque de l'érosion hydrique	22
I.2.3.3 Conséquences de l'érosion hydrique	25
I.2.3.3.1 Au niveau du sol	25
I.2.3.3.2 Influence sur le régime des eaux	25
I.2.3.3.3 La dégradation des routes, des voies ferrées et des ponts	25
I.2.3.4 Quantification de l'érosion hydrique	26
A. Mesures directes	26
B. Mesures indirectes	26
B.1 Utilisation de radio-isotopes	26
B.2 La Modélisation de l'érosion du sol	26
B.2.1 Quantification et évaluation de l'érosion hydrique en utilisant le modèle RUSLE et déposition intégrée dans un SIG	27
B.2.2 La télédétection : définitions, historique, domaines d'application	27

Chapitre II	Conservation de l'eau et du sol et stratégie d'aménagement	
Introduction		31
II.1 La notion de conservation de l'eau et des sols		32
II.2 Aperçu historique sur les techniques de conservation de l'eau et des sols		32
II.3 Les techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols		33
II.3.1 Ouvrages et structures construits		34
A. Les cordons et les murs en pierres		34
B. Les murettes		34
C. Les murs en toub		34
D. Les terrasses		35
E. Les talus		35
F. Les rampes de pailles		35
II.3.2 Dérivation et stockage des eaux		37
A. Séguia		37
B. Sed		37
C. Madjen		37
D. Jboub		37
E. Daya		37
II.3.3 Techniques culturales		39
A. Le paillage		39
B. Cultures en billons		39
C. Les cultures associées		39
D. Utilisation du fumier		40
E. Travail à l'araire		40
F. Cuvettes d'infiltration		40
II.4. Techniques et approches modernes d'aménagement des bassins versants		42
II.4.1 La restauration des terrains en montagne (RTM)		42
II.4.2 La conservation de l'eau et des sols (CES)		42
II.4.3 Défense et restauration des sols (DRS)		42
II.4.4. La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)		43
II.5. Les aménagements appliqués actuellement dans les bassins versant Algériens		44
II.6 Actions et aménagements résultant aux récents programmes nationaux		46
II.6.1 Aménagement intégré des bassins versants de barrages :		46
II.6.2 Plan National de Reboisement		47
II.6.3 Economie de l'eau et sécurité alimentaire		47
II.6.4 Gestion et protection des parcours		48
II.7 Les techniques de correction torrentielles : objectifs, principe, mesures techniques et champ d'application		49
II.7.1 Définition de la correction torrentielle :		49
II.7.2 Correction mécanique		50
A. Objectifs		50
B. Principe		51
C. Mesures techniques et champ d'application		51
II.7.3 Types des aménagements mécaniques		52
A. Seuils en gabions		52
B. Seuils en pierres sèches		53
C. Seuil en maçonnerie (en béton)		53
D. Seuils en terre		53
II.7.4 Correction biologique		54
II.7.5 Ouvrage hydraulique		56
Conclusion		57

Partie II Présentation du milieu d'étude avec ses caractéristiques bioclimatiques
Chapitre I Présentation du milieu physique de la région d'étude

Introduction	58
I.1. Localisation géographiques et limite de la zone d'étude	58
I.2 Situation géographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra	59
I.3 Cadre géologique	60
I.4 Cadre pédologique.....	62
I.5 Cadre hydrologique et hydrogéologique.....	64
I.5.1 Caractéristiques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra	66
A. Caractéristiques géométriques	66
A.1. Surface « A ».....	66
A.2. Périmètre «P»	67
A.3. Morphologie et Forme du bassin	67
A.3.1 L'indice de compacité de Gravelius (1914) « Kc»	67
A.3.2 Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelius.....	67
B. Caractéristiques topographiques (relief)	68
B.1. Courbe hypsométrique.....	68
B.2. Altitudes minimales et maximales	69
B.3. Altitude moyenne	69
B.4. Altitude médiane	71
B.5. Etude de la pente du bassin versant	71
B.5.1 Indice de pente de Roche I_p	71
B.5.2 Indice de pente globale I_g : (P. Dubreuil, 1974)	72
B.5.3 Indice de pente moyenne I_{pm} :	73
B.5.4 Dénivelée spécifique D_s :	73
B.6. Établissement de la carte des pentes	74
B.7. Carte de vulnérabilité selon l'exposition des versants	75
C. Caractéristiques hydrographiques.....	77
C.1. Hiérarchisation et classification du réseau hydrographique	78
C.2. Longueur du cours d'eau principal (L_p).....	79
C.3. Degré de développement du réseau	80
C.3.1. La densité de drainage D_d (Km/Km^2).....	80
C.3.2. La densité hydrographique	81
C.3.3. Coefficient de Torrentialité.....	81
C.3.4. Le rapport de confluence (R_c) et des longueurs (R_L).....	81
C.3.5. Fréquence des cours d'eau	82
C.3.6. Temps de concentration (T_c)	82
Conclusion.....	85

Chapitre II Etude de caractéristiques climatiques de la région d'étude

Introduction	87
II.1. Les précipitations	88
II.1.1. Régime moyen mensuel des précipitations	89
II.2. Les températures	89
II.3. Les différents paramètres climatiques	90
II.3.1. Calcul de l'indice d'aridité de De Martonne (1926)	90
II.3.2. Calcul de la continentalité thermique	90
II.3.3. Variation saisonnière du régime pluviométrique	91
II.3.4. Synthèse climatique	91
II.3.4.1. Le Quotient pluviothermique d'Emberger (1955)	91
II.3.4.2. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953).....	92
II.4 Résultats et discussions.....	92

II.4.2. Régime saisonnier.....	95
II.4.3. Températures.....	97
II.4.4. Autres facteurs climatiques.....	98
II.4.4.1 Les vents :.....	98
II.4.4.2 La gelée.....	99
II.4.4.3 Grêles et Neiges.....	99
II.4.4.4 L'évapotranspiration (ETP).....	99
II.4.5. Les indices bioclimatiques.....	99
II.4.5.1. La Continentalité Thermique.....	99
II.4.5.2. L'indice d'aridité de De Martonne.....	100
II.4.6. Synthèse climatique.....	100
II.4.6.1. Le quotient pluviothermique.....	100
II.4.6.2. Diagrammes Ombrothermiques de Bagnouls et Gausсен :.....	102
Conclusion.....	104

Partie III : Matériels et méthodes, Occupation du sol, Evaluation spatiale de l'érosion et analyse des techniques de CES

Chapitre I Matériels et Méthodes

Introduction.....	105
I.1. Données utilisées.....	105
I.1.1. Carte topographique (papier et scanné).....	105
I.1.2. Données climatiques.....	106
I.1.3. Image Aster.....	106
I.2. Equipement du travail.....	107
I.2.1. Traitement des données pluviométriques.....	107
I.2.2. Logiciels cartographiques.....	107
I.3. Méthodes.....	108
I.3.1. Evaluation des pertes en sol.....	108
I.3.2. Dynamique spatiale de l'occupation du sol entre 2000 et 2019.....	110
I.3.3. Analyse des techniques de conservation de l'eau et des sols.....	111
I.3.4. Questionnaire de l'enquête auprès de la population du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.....	112
I.3.4.1. Objectifs du questionnaire.....	113
I.3.4.2. Une enquête auprès des nomades.....	113
I.3.4.3. Une enquête auprès des sédentaires.....	113
I.3.4.4. Méthode.....	113

Chapitre II Occupation du sol et Aspects socio-économiques de la région d'étude

II.1. Occupation du sol	114
II.1.1 Ressources végétales	114
II.1.2 Dynamique spatiale de l'occupation du sol entre 2000 et 2019.....	116
II.1.2.1 Etat de l'occupation du sol en 2000.....	118
II.1.2.2 Etat de l'occupation du sol en 2019.....	119
II.1.3 L'indice de Kappa et Matrix de confusions de la classification superposée	124
II.1.4. Etat de recouvrement du tapis végétal	125
II.1.4.1 Zone forestière et Alfatière	126
II.1.4.2 Les reboisements.....	129
II.1.4.3 Le parc national de Ain Aïssa	130
II.2. Aspects socioéconomiques.....	131
II.2.1 Population	131
II.2.1.1 Historique de peuplement	131
II.2.1.2 Evolution de la population.....	132
II.2.1.3 Structure de la population	135
A. Structure de la population par commune (densité) :	135
B. Structure de la population par strate (urbaine et rurale):	138
II.2.2 Sur le plan socio-démographique	139
II.2.3 Potentiel économique de la Wilaya.....	140
II.2.4 Les activités socio-économiques	141
II.2.5 L'agriculture et l'agropastoralisme.....	142
A. L'AGRICULTURE.....	142
A.1 Surface Agricole Utile (SAU).....	142
A.2 Mise en valeur des terres par l'Accession à la Propriété Foncière Agricole (A.P.F.A).....	144
A.3 Mise à niveau des exploitations agricoles.....	144
A.4 La production.....	145
B. L'ELEVAGE	146
Conclusion.....	151

**Chapitre III Evaluation spatiale de l'érosion hydrique à l'aide de RUSLE
intégrée dans un SIG**

Introduction	152
III.1 Matériels et méthodes	153
III.1.1 Description du modèle RUSLE.....	153
III.1.1.1 Facteur d'érosivité des précipitations (R)	154
III.1.1.2 Érodabilité du sol (K).....	155
III.1.1.3 LS-Facteur	157
III.1.1.4 Facteur C.....	158
III.1.1.5 Pratiques agricoles et facteur de conservation des sols (P).....	158
III.2. Résultats et discussions.....	159
III.2.1 Le facteur d'érosivité des précipitations (R).....	160
III.2.2 Le facteur d'érodabilité du sol (K)	161
III.2.3 Facteur LS	161
III.2.4 Facteur du couvert végétal (C).....	162
III.2.5 Facteur de pratique de soutien et de préservation (P).....	164
III.3 Carte du risque potentiel de l'érosion	165
Conclusion.....	169

Chapitre IV Analyse des techniques de conservation de l'eau et des sols

Introduction	170
IV.1 Matériel et méthodes	171
- L'identification et la classification des techniques de CES (traditionnelles et nouvelles)	172
- La spatialisation (localisation et répartition des aménagements dans l'espace)	172
- Analyse du comportement des aménagements et évaluation de leur efficacité	172
IV.2 Résultats	173
IV.2.1 Les pratiques traditionnelles menées par les paysans	173
IV.2.2. Les techniques nouvelles introduites par l'Etat	174
IV.2.2.1 La construction des aménagements anti érosifs mécaniques	174
IV.2.2.2 Les aménagements antiérosifs biologiques.....	175
a. Le boisement par les arbres et les arbustes fourragers : parmi les espèces plantées :	176
b. La fixation biologique de dunes :	176
c. La plantation de brise-vent	176
d. Les plantations d'alignement.....	176
e. La mise en défens	176
f. Mise en valeur rationnelle des terres	176
IV.3 Discussion	179
IV.3.1 Comportement des ouvrages et structures traditionnels de CES.....	179
IV.3.2 Les techniques nouvelles de conservation de l'eau et du sol	181
IV.3.3.1 Objectif principal de réalisation des ouvrages	182
IV.3.3.2 L'étude préalable sur les aménagements	182
IV.3.3.3 La durée des aménagements	183
IV.3.3.4 Conception et confection des seuils.....	183
a. Matériaux de construction des seuils	184
b. Aspects techniques	184
b.1. L'ancrage des aménagements	184
b.2. Les déversoirs.....	185
b.3 Dimension technique	185
b.4 Fondation des seuils	185
c. L'implantation des seuils	186
d. Entretien et suivi des aménagements	186
e. Le coût et efficacité de l'aménagement	187
f. Impact des aménagements.....	188
Conclusion.....	190
Conclusion Générale	191
Références bibliographiques.....	196
Annexes.....	208



Introduction générale

Introduction générale

La dégradation des sols, qui a souvent un caractère plus dramatique, est due à de nombreux facteurs qui sont le climat, la lithologie, la nature, la topographie, la couverture végétale et l'environnement. Parmi ces facteurs, le climat est le plus important, qui prend sur un caractère agressif et provoque une dégradation rapide des sols lorsqu'ils ne sont pas protégés par une végétation dense suffisante (**Mazour, 1991**). Ce processus se produit lorsque les paramètres d'érosion hydrique interagissent avec des pratiques anthropiques inappropriées, telles que le travail du sol au sens des pentes, le défrichage, la déforestation, l'extension des zones urbaines et la construction de routes au profit des terres agricoles. De même que le surpâturage et le manque de contrôle aggravent le problème (**Woldemariam et al., 2018**).

L'érosion est définie comme étant un phénomène de dégradation et de transformation des reliefs associé à l'altération des roches, mais aussi comme le processus de transport et de dépôt des couches superficielles du sol. La dégradation des roches peut se faire par plusieurs processus classifiés en deux principales catégories : les processus physiques (érosion mécanique ; vent, eau ...) et les processus chimiques (altération et dissolution) (**Benslimane et al., 2008**).

Au niveau mondial, les taux moyens d'érosion des sols sont estimés entre 12 et 15 t/ha/an (**Pham et al., 2018**). Dans les zones arides, elles sont soumises à de fortes contraintes quantitatives et qualitatives de dégradation causée par l'érosion hydrique, chaque année la surface des terres a perdu environ 0,90 à 0,95 mm du sol (**F.A.O., 2015**).

L'Algérie est classée parmi les pays aux sols les plus érodables du monde (**Touaibia, 2010**). Environ six millions d'hectares sont exposés aujourd'hui à l'érosion active et en moyenne de 120 millions de tonnes de sédiments sont emportés annuellement par les eaux (**Heddadj, 1997**).

Les risques d'érosion éolienne et hydrique sont élevés en steppes arides en raison de la violence des événements climatiques et de la faible protection du sol par la végétation. L'importance du recouvrement végétal est à la fois une conséquence de l'érosion et un indice de risque érosif ; En outre, les dernières décennies ont connu une diminution notable de la pluviosité annuelle, avec parfois plusieurs années consécutives de sécheresse persistante (**Nedjraoui et Bédrani, 2008**). Ces phénomènes ont provoqué d'énormes pertes : près de 600 000 ha de terres en zone steppique sont totalement désertifiées sans possibilité de remontée biologique et près de 6 millions d'hectares sont menacées par les effets de l'érosion hydrique et éolienne (**Ghazi et et Lahouati, 1997**) citer par (**Houamel, 2018**). Dans les zones steppiques,

cette accélération de l'érosion est due notamment à l'introduction de terres pastorales ou forestières dans la production et à des méthodes de culture mal adaptées qui ne garantissent pas une couverture permanente des sols.

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/km² /an et le taux d'envasement est supérieur à 15% » (**Achite et al., 2006**).

Elle peut être catastrophique lorsque l'homme développe ses pratiques sur des sols particulièrement fragiles. Les paysages méditerranéens connaissent des averses brutales et qui saturent le sol en provoquant des ravinements, des glissements de terrain et des inondations. La discontinuité de l'érosion dans l'espace et dans le temps, et la variabilité de ses facteurs et de ses causes, ont compliqué sa maîtrise. Deux logiques de stratégies de conservation des eaux et des sols ont été développées : 1) à l'amont, préserver les ressources naturelles locales est avant tout un enjeu pour maintenir un potentiel productif. Il s'agit alors de fixer les sols et de limiter le ruissellement afin de préserver les terres arables et garantir la fertilité des sols. Cela s'est traduit par des politiques d'encouragement à l'adaptation de systèmes de production via des stratégies traditionnelles de gestion de l'eau sur les versants. 2) à l'aval : il s'agit surtout de préserver les infrastructures hydrauliques et noyaux urbains de l'aval, porteurs d'enjeux économiques majeurs et d'activités plus intensives (**Braiki, 2018**).

Malgré le faible taux de couverture, la végétation de la steppe constitue une ressource naturelle de grande importance, notamment pour la protection des sols contre le phénomène d'érosion. Cette zone subit une dégradation continue qui se traduit par la réduction de cette couverture végétale, cette dégradation a été engendrée sous l'action combinée des facteurs de l'environnement physique et de ceux de l'environnement socio-économique.

Aussi et malgré les efforts considérables consentis par l'Etat dans les zones pastorales et agropastorales, la situation reste préoccupante et la concrétisation des objectifs est toujours confrontée à d'importantes contraintes notamment écologiques et socio-économiques. Cette déstructuration a conduit à des multiples contraintes dans les systèmes traditionnels d'organisation et a entraîné une démobilité des populations agro-pastorales qui jusque-là assuraient la sauvegarde de cette ressource (**Nedjimi et Houmida, 2006**).

La région des Monts des Ksour, souffrent de l'érosion hydrique en périodes d'averses et de pluies torrentielles, qui touchent la couche arable ou de surface. L'érosion hydrique est très active dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Les facteurs contribuant aux processus de la dégradation des sols dans cette région aride sont d'ordres physiques et anthropiques. Toutes ces

recherches nécessitent un grand nombre de données spatiales, que le SIG est susceptible de manière simple et efficace à cette fin. C'est pourquoi de nombreux chercheurs utilisent le SIG comme élément principal pour estimer l'érosion des sols à toutes les échelles spatiales (**Belasri et Lakhouli, 2016**).

La présente étude pose la problématique de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant aride de l'oued Ain Sefra, afin de connaître la répartition et l'ampleur géographique de l'érosion dans ce bassin versant nous avons procédé à une cartographie multifactorielle du phénomène. Une évaluation de l'érosion qualitative est établie grâce à divers croisements des cartes thématiques entre elles afin d'obtenir au final une carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique du bassin versant. Cette étude peut être un document de référence dans les études d'aménagements contre l'érosion hydrique à prévoir dans le bassin versant de l'oued Ain Sefra. L'insuffisance ou l'absence de données du jaugeage et de teneurs en sédiments rend plus complexes 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. Tous nos travaux de recherche sont axés sur l'estimation des pertes en sols ainsi que l'analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol, et propose une synthèse des résultats obtenus dans le contexte Algérien en zone aride.

Cette étude met en évidence les aspects quantitatifs et qualitatifs des pertes en sols dans ce bassin, à travers le modèle RUSLE (Equation Universelle Révisée de Perte en Sol) dont les paramètres ont été essentiellement estimés par l'utilisation des SIG et des images de la télédétection. Cette approche est largement utilisée par les chercheurs dans les régions semi-arides et arides du monde entier, notamment en Algérie (**Mostephaoui et al., 2013 ; Toumi et al., 2013 ; Benkadjia et al., 2015 ; Hasbaia et al., 2017 ; Benchettouh et al., 2017 ; Bouguerra et al., 2017 ; Toubal et al., 2018 ; Djoukbala et al., 2018 ; Koussa et Bouziane, 2019**). Cette méthodologie a permis d'établir la carte des zones vulnérables à l'érosion, de reconnaître les facteurs initiateurs du risque d'érosion à l'échelle du bassin versant de l'Oued Ain Sefra et discuter leurs paramètres explicatifs et les incidences pratiques des processus en cours. Ainsi qu'une cartographie de l'évolution spatio-temporelle de l'occupation du sol à partir des données de télédétection (images Landsat) sur une période de 19 ans (2000-2019) pour l'établissement de la carte de dynamique de l'occupation du sol dans cette zone aride.

De nombreuses stratégies traditionnelles ont été développées. Ces stratégies sont certainement encore opérationnelles dans certaines régions du territoire algérien mais ils restent souvent dispersés et parfois abandonnés ou ignorés (**Mazour et al., 2008**). Toutefois, dans

certaines autres régions, comme la région aride présaharienne des Monts des Ksour, ces stratégies ont été utilisées pendant des siècles, et ont été entretenus jusqu'à présent. Elles sont en fait toujours utilisées jusqu'à maintenant, et il existe même un intérêt qui justifie et encourage leur investigation. La région de Ain Sefra offre une grande diversité de stratégies de gestion conservatoire des eaux et des sols et présente une forme d'adaptation de l'homme aux fortes contraintes physiques de la région. Les stratégies des paysans et leurs pratiques dans leurs territoires sont liées aux conditions socio-économiques ainsi qu'aux conditions pédoclimatiques.

Ainsi que des techniques nouvelles sont mises en œuvre, dont la méthode la plus répandue est la conservation des eaux et des sols correspondant à un ensemble de pratiques mécaniques, biologiques et culturelles, ainsi que les dispositifs et des programmes préconisés par l'Etat pour une meilleure maîtrise de la gestion des ressources naturelles disponibles.

Ce travail vise à contribuer à la compréhension et à l'évaluation de ce patrimoine. Il s'agit d'une tentative d'expliquer son fonctionnement, de mettre en valeur les connaissances traditionnelles et de préserver pour les générations futures, et de tirer les leçons de ces stratégies par lesquelles il est indispensable de promouvoir de meilleures techniques de gestion de l'eau et des sols et à mettre en place de nouveaux programmes de développement durable.

En outre, nous avons voulu analyser le comportement des aménagements antiérosives et évaluation de leur efficacité dans les trois sites de Sfisifa, Belguered et Ain Sefra de point de vue conservation de l'eau et du sol et l'amélioration de la productivité agricole. L'identification et la classification de ces techniques de conservation de l'eau et des sols (traditionnelles et nouvelles) est basée sur des explorations de terrain et ainsi que sur l'examen des enquêtes préétablies des questionnaires, ainsi qu'une spatialisation (localisation et répartition des aménagements dans l'espace) de quelques techniques de conservation de l'eau et des sols (mise en défens, ouvrages hydrauliques, aménagements biologiques et mécaniques).

Choix du secteur

Les Monts des Ksour constituent l'un des meilleurs exemples du l'Atlas saharien pour l'analyse des problèmes d'érosion des sols, de la préservation et de la valorisation des terres de ces régions présahariennes, Où les conditions favorables aux risques érosifs sont nombreuses : de fortes averses et des intensités horaires élevées, relief accidenté avec de fortes pentes, une surexploitation des parcours par une surcharge du bétail et extension d'une céréaliculture piteuse (à rendement insignifiant) qui est contrainte par les facteurs climatiques et édaphiques.

Il convient de souligner le manque pour ne pas dire l'absence de telles études qui permettraient d'estimer les pertes de sol dues à l'érosion hydrique dans ces régions arides (Monts

des Ksour). Les travaux des chercheurs dans cette région se concentrent sur la désertification, l'ensablement et l'érosion éolienne.

Le choix est porté sur la zone de Ain Sefra puis qu'elle présente un cas d'exemple où la dégradation du sol demeure l'une des préoccupations majeures des collectivités locales. Cette étude permettra aux autorités étatiques, aux chercheurs, mouvement associatif et organisations internationales de prendre connaissance du niveau de dégradation des ressources du bassin versant de l'Oued Ain Sefra afin de prévenir et d'empêcher leur aggravation.

En outre, la présence d'une grande variété de techniques antiérosives traditionnelles et nouvelles, de même que les consentements d'un important investissement pour la conservation de l'eau et des sols. Ce domaine a fait l'objet de plusieurs programmes antiérosifs depuis les années 1980.

Etapes de la rédaction du mémoire

Notre travail s'intègre dans le cadre des activités de recherche du Laboratoire d'Hydrologie Appliquée et Environnement (LHYDENV) Université Belhadj Bouchaib de Ain Témouchent afin de poursuivre le travail déjà entamé dans cette région (**Melalih, 2012**).

Le présent mémoire de thèse s'articule autour de trois parties :

La première partie est consacrée à une recherche bibliographique sur la thématique étudiée, elle comportera un chapitre sur la description de processus de l'érosion, ses formes et type dans un contexte d'aridité et des principaux facteurs qui l'affectent et les conséquences de ce phénomène ainsi que sur les méthodes de quantification de l'érosion hydrique. Le deuxième chapitre concerne les stratégies et les aménagements utilisées pour la conservation de l'eau et du sol dans le monde et en Algérie.

Dans la deuxième partie : un chapitre est réservé à la présentation du milieu physique de la région d'étude sur le plan géographique, géologique, pédologique, hydrologique et hydrogéologique en soulignant les caractéristiques morphométriques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Et un autre chapitre pour analyser les facteurs bioclimatiques de notre région d'étude.

Pour la troisième partie, chapitre I concerne le matériels et les méthodes adoptées pour mener ce travail. Chapitre II est consacré à l'évaluation de la dynamique de l'occupation des sols dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra ainsi que l'étude socioéconomique de la région. Le chapitre III sur la méthode utilisée pour estimer et quantifier les pertes en sols causés par l'érosion hydrique. Et enfin, un quatrième chapitre sera consacré à l'identification et le classement des aménagements traditionnels et nouvelles de C.E.S par type ainsi qu'à l'examen

et l'analyse du comportement de ces aménagements vis-à-vis leur efficacité de lutter contre le phénomène de l'érosion hydrique.

Une conclusion générale qui fait la synthèse de la démarche méthodologique adoptée, des principaux résultats obtenus et quelques perspectives de recherche.



PARTIE I

Analyse bibliographique



CHAPITRE I

Érosion, Définition, Origine et Mécanisme

Chapitre I

Érosion, Définition, Origine et Mécanisme

Introduction

Le phénomène de dégradation des sols se traduit à travers plusieurs processus qui varient en importance en fonction des conditions et des régions par une perte de la fertilité, la réduction du couvert végétal et forestier, la diminution de la capacité de rétention d'eau des sols, des écoulements, dans le cadre de l'érosion hydrique et éolienne. Bien que la dégradation des terres sous l'effet conjugué des activités humaines devienne un phénomène très complexe, on distingue principalement quatre types de dégradations à savoir :

- L'érosion éolienne qui entraîne les pertes de la couche superficielle du sol, la formation de dunes, de Sifs et de barkhanes ;
- L'érosion hydrique qui cause la perte de la partie supérieure du sol suite aux ruissellements et aux transports des particules du sol ;
- La dégradation chimique qui provoque la perte de nutriments, la pollution, ou encore l'acidification et la salinisation, etc ;
- La dégradation physique : Compactage en surface, formation de croûtes de battance, aridification (fentes de retrait).

Tous ces éléments sont abordés pour le milieu Méditerranéen en mettant l'accent notamment sur l'érosion hydrique qui est au cœur de notre sujet.

Selon **Ghazi et Lahouati (1997)**, ces phénomènes ont provoqué d'énormes pertes : près de 600 000 ha de terres en zone steppique sont totalement désertifiées sans possibilité de remontée biologique et près de 6 millions d'hectares sont menacées par les effets de l'érosion hydrique et éolienne.

Les conséquences en sont une plus grande fragilité des milieux, la baisse des rendements et donc des revenus des habitants, une augmentation de l'insécurité alimentaire et d'une façon générale, l'accroissement de la vulnérabilité des sociétés vis-à-vis des risques climatiques et des crises économiques (**Mainguet et al., 2006**).

Selon, **Achite et al., (2006)**, l'érosion hydrique est un problème majeur qui touche l'Algérie ; ce phénomène est dû principalement au ruissellement des eaux de précipitation. Ils rapportent que : « 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/km²/an et le taux d'envasement est supérieur à 15% ».

L'érosion hydrique est due en grande partie aux pluies torrentielles qui, sous forme d'orages violents désagrègent les sols peu épais, diminuent leur perméabilité et leur fertilité. Les éléments fins, l'humus et les éléments minéraux sont emportés par le ruissellement qui provoque la formation de rigoles et de ravines entaillant profondément la surface du sol. Comme conséquence directe de ce phénomène d'érosion, un volume de 50 à 250 tonnes par hectare et par an de terre sont ainsi entraînées par le ruissellement sur les sols dénudés à forte pente (**Le Houérou, 1995** in **Nedjimi et Guit, 2012**).

Dans les zones steppiques, cette accélération de l'érosion est due notamment à l'introduction de terres pastorales ou forestières dans la production et à des méthodes de culture mal adaptées qui ne garantissent pas une couverture permanente des sols.

Pour notre zone d'étude, qu'elle appartienne au domaine présaharien et au stade bioclimatique aride, qui se caractérise par un régime pluviométrique irrégulier accompagné de fortes averses qui accélèrent le ruissellement et provoquent l'érosion du terrain en nappes, en rigoles et en ravines de manière extrêmement hiérarchisée.

I.1. Le phénomène de l'érosion

L'érosion est un processus selon lequel les particules de sol sont arrachées de leur milieu, transportées par un agent de transport (l'eau, l'air) et déposées en un autre milieu. Ce processus peut s'écrire (**Dube, 1975**).

ÉROSION = ARRACHEMENT → TRANSPORT → SÉDIMENTATION

Roose (1977) définit l'érosion comme étant un ensemble de processus variables dans le temps et dans l'espace, en fonction des conditions écologiques et des mauvaises conditions de gestion de la terre par l'homme.

Selon **Girard et al., (2005)**, l'érosion peut être définie comme un phénomène de déplacement des matériaux à la surface du sol sous l'action de l'eau, du vent, de l'homme ou simplement de la gravité. Elle est l'une des formes de dégradation physique des sols la plus importante en affectant les reliefs, la production du sol et la stabilité des versants.

L'érosion du sol est l'une des formes de dégradation physique du sol la plus grave, Elle résulte de la dégradation des couches superficielles des sols et du déplacement des matériaux les constituants par l'eau, le vent, la gravité ou même l'homme. Ce phénomène est souvent renforcé par les modifications paysagères apportées par l'homme et résultant par exemple de l'intensification de l'agriculture, du surpâturage, de la déforestation, des cultures à faible recouvrement, ou encore de l'ratification et de l'imperméabilisation des surfaces.

Des phénomènes naturels violents tels qu'une avalanche ou un orage peuvent modifier considérablement le paysage de manière presque instantanée. Donc l'érosion agit à différents

rythmes et peut, sur plusieurs dizaines de millions d'années, raser des montagnes, creuser des vallées, faire reculer des falaises.

I.2. Typologie de l'érosion dans un contexte d'aridité

Il y a plusieurs types d'érosion : éolienne ; causée par le vent, hydrique ; générée par la pluie et mécanique sèche ; causée par la gravité et le passage des outils agricoles, sans intervention de l'eau (Asmodé, 1999).

En effet, les deux facteurs climatiques qui menacent le plus sérieusement les ressources naturelles sont la pluie et le vent. Cela se traduit par une situation particulièrement variée dans les régions arides par rapport à celles des autres régions.

I.2.1 L'érosion éolienne

Le processus d'érosion éolienne correspond à un phénomène naturel de dégradation des sols, intensifié localement par les activités humaines (défrichement, déforestation, surpâturage et surexploitation) associée aux forces du vent qui s'exercent à la surface du sol, des caractéristiques spécifiques du sol et l'absence de couverture protectrice peuvent déclencher cette érosion.

Dans les zones présahariennes, et en parallèle avec l'érosion hydrique, l'érosion éolienne est également un phénomène de dégradation des sols soumis à l'action du vent, qui arrache, transporte et dépose des particules de sol.

La dégradation des terres par l'érosion éolienne est le principal facteur physique d'épuisement des sols cultivés et des parcours, à travers le décapage et l'envasement, des écosystèmes secs des zones urbaines et des oasis, ce qui entraîne la pauvreté et la migration des populations humaines qui abandonnent leurs terres stériles pour de nouvelles terres ou de nouvelles villes.

L'ensablement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a plusieurs lieux, on a : Une grande formation dunaire de 4 km de hauteur, 8 km de largeur et 30 km de longueur, aussi le champ de dunes de Magroune est principalement formé par des petites barkhanes et des champs barkhaniques et des aklis qui s'étendent de Sfisifa à Haraza (Bouarfa, 2019).

I.2.1.1 Les facteurs de l'érosion éolienne

A. Les vents

Les vents sont un élément déterminant dans la définition du climat de la région, ils peuvent apporter les pluies et la fraîcheur, comme ils peuvent ramener la chaleur (Sirocco), qui assèchent le sol et la végétation, et enlèvent les constituants du sol (érosion éolienne). Dans les régions arides, ils sont dominants en hiver dans la direction Nord-Ouest, Sud-Est et changent en été pour dominer dans la direction Sud-Ouest, Nord-Est.

En zones arides, l'action du vent se conjugue avec celle de l'eau pour éroder les sols. Un terrain dépourvu de couvert végétal et dénudé par l'abrasion du vent est plus vulnérable à l'érosion hydrique. Les dépôts de sédiments délavés sont exposés à l'érosion éolienne. De même que les effets de l'érosion hydrique se le sont senti très loin en aval, de même les particules charriées par le vent remontent à des milliers de mètres dans l'atmosphère ; selon des études récentes, ce phénomène modifie le régime des pluies et peut être une cause d'aridité. Dans la région méditerranéenne, on observe tous les ans des dépôts de particules de poussière et de sol apportés d'Afrique par le vent (Mainguet *et al.*, 2006).

B. Facteur homme

L'homme, tant le paysan que le pasteur, le citadin ou le décideur politique, joue, par ses activités et ses aménagements, un rôle essentiel de déclencheur de l'érosion éolienne, les accidents climatiques (sécheresses, inondations, paroxysmes d'érosion hydrique et éolienne) étant des accélérateurs de ce processus (Mainguet *et al.*, 2006).

L'effet de surpâturage réduit la disparition d'une grande proportion de la couverture végétale laissant des surfaces importantes non protégées et dans la structure se détruire. Comme c'est le cas pour l'érosion hydrique la couche la plus riche en élément nutritifs et érodée, ce qui provoque une diminution de la fertilité du sol.

Ainsi les vents violents accompagnants les orages et précèdent la pluie provoque des flux de sable important sur sol sec. Au cours de ce phénomène, les jeunes plantes sont attaquées ou recouvertes par les particules de sable, ce qui entraîne des pertes importantes pour les cultures.

I.2.1.2 Mécanisme de l'érosion éolienne

Le vent est un déplacement d'air provoqué par un gradient de la densité de l'air, lui-même dû à des différences de pressions ou de températures. Le pouvoir érosif du vent, comme celui de l'eau, croît de façon exponentielle avec la vitesse, mais contrairement à l'eau, le vent n'est pas affecté par la gravité. En revanche, la course du vent - l'espace qu'il peut parcourir sans rencontrer d'obstacles détermine sa vitesse et donc son pouvoir érosif. Le vent n'est en effet « efficace », c'est-à-dire capable d'arracher et d'emporter des particules solides, qu'à partir d'une certaine vitesse. Au-dessous de 12 à 19 km/h à 1 m au-dessus du sol, il est rare que l'énergie éolienne soit suffisante en surface pour emporter des particules de la taille des grains de sable. Dans les sols très sujets à l'érosion, les particules ne commencent à se déplacer que quand le vent atteint une vitesse de 25 à 30 km/h à 30 cm au-dessus du sol (Hopkins *et al.*, 1937).

- ❖ **Déflation** : enlèvement des particules légères et fines du sol (argile, limon et matière organique). Elles sont mises en suspension puis aspirés par des tourbillons jusqu'à

plusieurs milliers de mètres au-dessus de la surface du sol, puis dispersés sous forme de poussière ou circulent comme un nuage sur plusieurs milliers de kilomètres (**Fig. 1a**).

- ❖ **Le transport** des particules mises en mouvement par le vent peut se dérouler de trois manières différentes, en fonction de la taille de ces matériaux, de la force ou la vitesse du vent et du degré de turbulence. Dans le cas de la saltation, les particules avancent par sauts et bonds. Alors par reptation en surface, les grosses particules roulent ou glissent sur le sol mais elles sont mises en mouvement par l'impact des particules en saltation. La troisième mode de déplacement est la suspension, correspond au flottement dans l'air de particules fines de diamètres faibles $< 0,1$ mm.
- ❖ **Accumulation** : dépôt de poussières et de sables entraînés quand le vent perd de sa vitesse initiale ou lorsqu'il est trop chargé pour donner naissance à des dunes, des sifs, des nebkas et des barkhanes (**Fig. 1b**).



Figure 1. Forme et conséquence de l'érosion éolienne ; a : Tempête de sable à Sfisifa

b : Ensablement de la route communale Sfisifa-Lamkheizen

I.2.1.3 La lutte contre l'érosion éolienne

La lutte contre l'érosion éolienne s'organise à deux niveaux; d'une part réduire la vitesse du vent à la surface du sol (augmentant la densité du couvert végétal par l'installation de haies vives et de haies mortes pour les zone aride ainsi que de brise-vent) en plus la mise en défens des parcours pour assurer certaine régénération naturelle des plantes steppiques, et d'autre part,

augmenter la cohésion du matériau (amélioration de la structure du sol par l'apport de la matière organique notamment) face à cette agression.

I.2.2. L'érosion mécanique sèche

Le processus est similaire au glissement, mais sans intervention des pluies. Sous la pression des outils de travail du sol les horizons superficiels se déplacent lentement en masse, ce qui provoque le décapage des sommets des collines ainsi que l'accumulation de matériaux au bas des versants. En fonction de la pente, mais surtout de l'intensité, la fréquence et le mode de travail, ce processus s'intensifie.

On confond souvent ses effets à ceux de l'érosion en nappe mais à la différence de cette dernière, les mouvements de masse déplacent les matériaux sans les tirer.

I.2.3. L'érosion hydrique, origine et mécanisme

Sous l'effet de la pluie, deux phénomènes distincts sont en jeu. Lors de l'humectation rapide du sol par la pluie, de l'air sous pression est piégé à l'intérieur des agrégats, ce qui provoque leur éclatement. Ensuite, l'action mécanique des gouttes de pluie produit l'arrachement des particules, et leur transport par rejaillissement sur une courte distance : c'est l'effet *Splash*. Peu à peu, le sol "fond", ses pores se ferment car ils sont colmatés par les particules et petits agrégats produit par l'éclatement et l'arrachement. Ces particules et petits agrégats se répartissent à la surface du sol pour former une « croûte de battance », qui réduit la capacité d'infiltration de l'eau dans le sol et contribue à produire le ruissellement (**Asmodé, 1999**).

Concernant le processus d'érosion hydrique, on distingue en général trois phases bien distinctes (**Fig. 2**) :

- ✓ Destruction du matériel rocheux ;
- ✓ Transport ;
- ✓ Accumulation des débris.

Le phénomène d'érosion se manifeste par une désagrégation de la roche ou de la couche superficielle du sol dite " météorisation ". Elle a lieu sur place qui produit des débris. Son degré et sa gravité dépendent des caractéristiques de la roche mère :

- De la dureté par exemple ; les roches et minéraux les plus résistants sont le diamant et le corindon. Les moins résistants sont le talc, le gypse et la calcite. La présence de quartz rend le granite plus résistant, l'érosion sera donc plus lente.
- De la capacité de dilatation de la roche ;
- De sa chimie (solubilité ...)

Ce sont la pluie et le ruissellement en surface qui sont responsables de l'arrachage, du transport et du dépôt des sédimentations (rejaillissement). L'arrachement de ces sols est dû à la fois à l'effet Splash de gouttes de pluie et au ruissellement.

- ***Impact de gouttes de pluies sur le sol***

Les sols sont sujets à de forts martèlements engendrés par les gouttes de pluie. Les premières gouttes s'infiltrent dans le sol plus facilement, plus celui-ci reste meuble et présente de meilleure porosité. Dans cette première phase, il y a un déplacement des particules et un tassement du sol.

Dès que la couche superficielle du sol devient plus humide, se développent 3 processus simultanément :

- ✓ Une dégradation de la structure ;
- ✓ La formation d'une pellicule de battance ;
- ✓ L'érosion par Splash ou érosion par rejaillissement.

- ***Ruissellement***

De même que la pluie, le ruissellement agit sur le sol par des actions de détachement et de transport. En fonction de la nature du sol, de sa rugosité et de la pente du terrain, la présence ou l'absence du couvert végétal, ces actions sont prépondérantes.

En règle générale, il est admis que la vitesse de l'écoulement est le paramètre déterminant de l'action érosive du ruissellement en surface ; sa réduction revient à mettre en œuvre des techniques antiérosives. A titre d'exemple, Il s'agira :

- ❖ Des aménagements fonciers, réduisant la pente de la parcelle ;
- ❖ Des techniques améliorant l'infiltration ;
- ❖ Des techniques culturales augmentant la rugosité de la surface du sol.

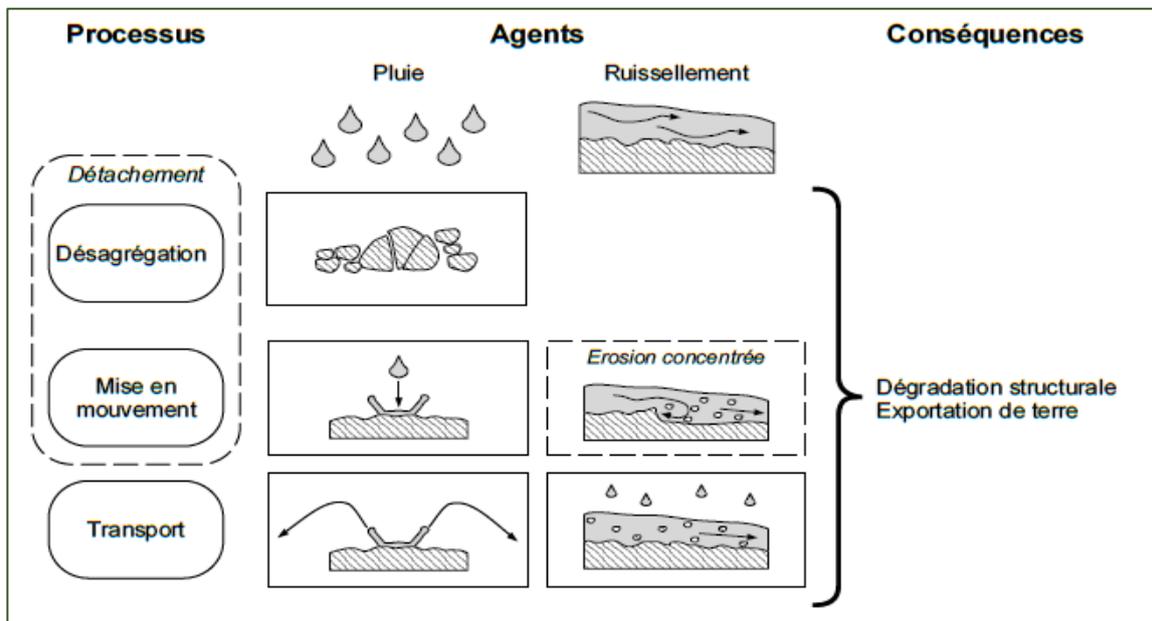


Figure 2. Les différents processus de l'érosion hydrique et leurs conséquences (Leguédois, 2003)

A. Arrachement des particules

Sous l'effet conjugué de l'énergie de précipitations, les agrégats sont détruits et le sol ainsi dispersé et transporté par les eaux de ruissellement. Ou encore, ce dernier provoque lui-même le soulèvement de la couche superficielle du sol.

Suite à l'impact d'une goutte de pluie, des gouttelettes d'eau et des fragments de sol sont éjectés de la surface, transportés radialement autour du point d'impact, avant de se déposer à la surface (Fig. 3). Ce rejaillissement d'eau et de sol est communément désigné par le terme de *Splash* (Leguédois, 2003).

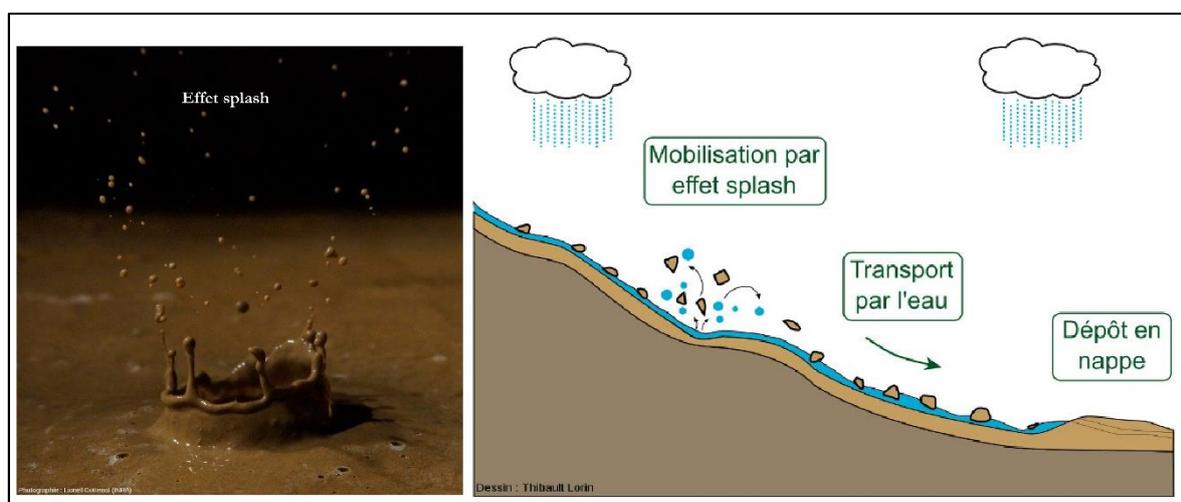


Figure 3. Mécanismes de l'érosion hydrique et l'impact d'une goutte d'eau sur la surface du sol (*effet Splash*) (Lorin et al., 2018)

Le développement de l'érosion du sol se produit lorsque les eaux de pluie, ne pouvant plus s'infiltrer dans le sol, ruissellent à la surface des parcelles en emportant avec elles les particules du sol. Cela signifie que les sols refusent d'absorber l'excès d'eau, soit lorsque l'intensité des précipitations est supérieure à l'infiltrabilité des terres, soit lorsque la pluie tombe sur une surface partiellement ou totalement saturée par une nappe phréatique.

B. Transport du sol

Le pouvoir énergétique du ruissellement est en fonction de sa vitesse, Cette dernière, à laquelle le mouvement des particules de sol devient remarquable, varie selon le type de sol, mais plus les particules sont fines, plus elles peuvent être transportées facilement, même avec un ruissellement lent. Sur les terrains en pente, la vitesse est d'autant plus élevée que la pente est forte et que la capacité de transport du sol est grande. En conséquence, l'augmentation de l'inclinaison augmente de manière exponentielle le pouvoir érosif du sol.

La lame d'eau entraîne à la surface du sol des fragments qui sont transportés soit par suspension, soit par saltation et/ou par traction en fonction de sa masse et de ses caractéristiques, ainsi que la présence du couvert végétal et du mode d'utilisation du sol.

C. Sédimentation

Les particules arrachées au sol, transportées se déposent ensuite en aval, en fonction de leur taille, de leur densité et de la capacité de transport des eaux de ruissellement. Le dépôt de sédiments se produit lorsque le courant devient incapable de maintenir les particules en suspension et résulte d'un ralentissement de plus en plus la vitesse du ruissellement.

Dans ce contexte, la granulométrie des particules ; la texture des sédiments, la géométrie des dépôts sont des indices qui conditionnent leur mode de dépôt.

I.2.3.1 Les formes d'érosion hydrique

a. Erosion due aux eaux de surface

a.1 Erosion en nappe (*Sheet erosion*)

Les particules du sol non protégées se détachent en raison de piétinement, de l'érosion éolienne et de l'impact des précipitations. Les particules sont arrachées est transportées, le phénomène est observé sur les pentes faibles, où l'eau ne peut pas se concentrer dans un premier temps, c'est l'impact des gouttes des pluies qui va envoyer des gouttelettes dans toutes les directions, seulement sous l'effet de la gravité des gouttelettes auront une vitesse plus importante vers l'aval.

En effet apparait lorsque le ruissellement en nappe s'organise, il se forme d'abord des flaques ; qui communiquent par des filets d'eau et lorsque ces derniers ont atteint une certaine vitesse, ils acquièrent une énergie qui va se concentrer en lignes de plus forte pente avec un

pouvoir d'arrachement suffisent pour mobiliser localement l'ensemble des particules (argiles, limons, jusqu'au gravier, Cailloux et autres) (Roose *et al.*, 1993).

Le ruissellement en nappe est sélectif, car son énergie est trop faible pour déplacer les particules grossières. Ses conséquences sont importantes car les matières organiques, ainsi que les argiles, limons et nutriments localisés à faible profondeur sont alors emportées, conduisant à une « squelettisation » du sol (Asmodé, 1999).

Le processus d'érosion en nappe a un effet érosif maximal sur le sommet des versants, contrairement à celui de l'accumulation. Cette érosion se manifeste surtout dans les terres agricoles où les taches blanches sont visibles de loin, indiquant l'accumulation de cailloux et de petites pierres quand la couche arable a disparu.

Sur notre site d'étude, le phénomène d'érosion en nappe est fortement déclenché par des interventions anthropiques, notamment le défrichement des parcours par des pratiques culturales aléatoires ainsi que par le surpâturage. On a observé que les Oueds du bassin lors des crues prenaient une couleur ocre, le signe d'un transport de fines particules en suspension (Fig. 4).



Figure 4. Erosion en nappe, l'impact des gouttes détache des particules mobiles qui seront par la suite évacuées par ruissellement.

a.2. L'érosion en griffe et en rigoles (érosion linéaire)

Un micro-filet ou une rigole constitue une dépression assez petite pour être éliminée par des façons culturales. Au niveau d'un bassin versant ou d'une parcelle de terrain, l'érosion en

rigole succède à celle en nappe par la concentration des eaux de ruissellement dans les creux. À ce stade, les rigoles ne convergent pas mais forment des ruisseaux parallèles.

Du point de vue quantitatif, ce type d'érosion reste dans les mêmes proportions que l'érosion en nappe. Lors d'un orage, une rigole de 2 cm de profondeur et 5cm de large correspond à une perte de terre 120 Kg/100m linéaire (Slimi, 2008).

Les rigoles sont des incisions élémentaires, temporaires, le plus souvent non hiérarchisées, qui apparaissent durant une averse à la suite d'une concentration locale de l'eau guidée, canalisée, par le micro modèle préexistant, le réseau des arbustes ou des touffes de graminées cespiteuse, la distribution des termitières ou les façons culturales (labours ou billons dans le sens de la pente) (Riou, 1990). Ces incisions sont perpendiculaires ou parallèles aux courbes des niveaux. Sur le terrain, on observe souvent, des rigoles qui forment à l'aval, un petit cône de déjection où les particules les plus grossières s'accumulent à la suite de l'entraînement des particules du sol par un ruissellement concentré (Slimi, 2008).

Cette forme est plus répandue au sein du notre bassin et se rencontre très souvent dans les parcours dégradés et des parcelles ouvertes à pente douce (Fig. 5). Une fois la pente dépassée de quelques degrés, les courants d'eau engendrés sur le terrain pendant les pluies accumulent de l'énergie, puis se rassemblent et incisent de véritables ravines de quelques centimètres, voir même de quelques décimètres de profondeur (Tab. 1).

Tableau 1. Appellation des lignes d'écoulement (Roose *et al.*, 1993)

Profondeur	Appellation
Quelques centimètres	Griffes
>10 cm	Rigoles
10 à 20 cm	Nappe ravinant
< 50 cm	Ravines

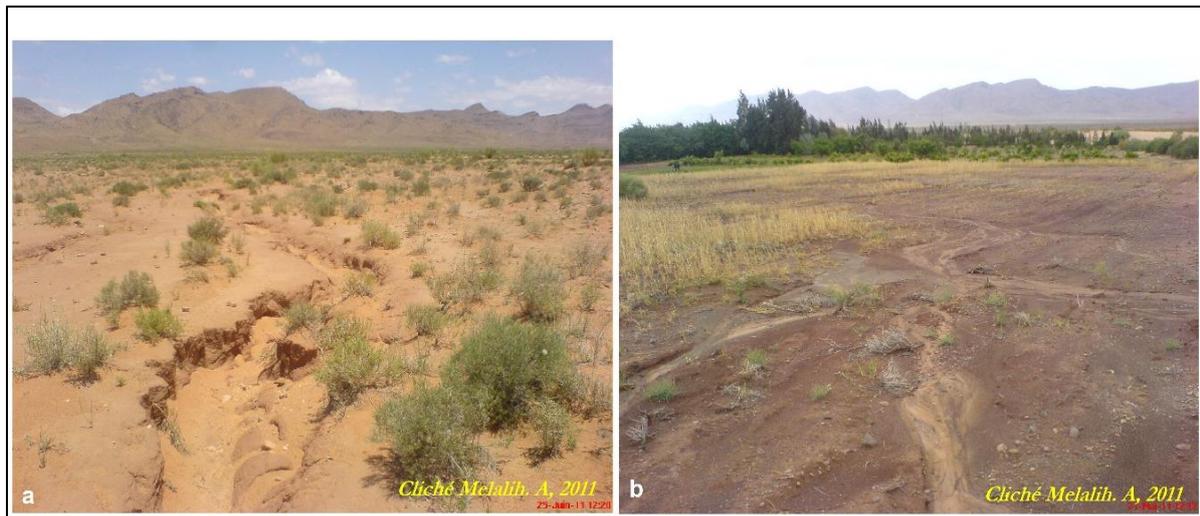


Figure 5. Erosion en rigole au sens de la pente sur le versant Sud de Djebel El Hairech (Belguerred) a : sur parcours et b : sur une parcelle.

a.3. Erosion par ravinement (Gully érosion)

L'arrachement du sol est beaucoup plus considérable si les gouttes de pluies sont plus intenses, ce qui accentue la vitesse de l'eau. Si l'érosion en griffe n'est pas effacée, les griffes causées par une concentration du ruissellement se développent en ravine qui peut avoir une taille assez importante, de 0,5 m à 5 m (Solofo, 2008).

Le ravinement constitue un stade avancé de l'érosion hydrique. Les ravines peuvent atteindre des dimensions considérables. L'approfondissement des ravines remonte du bas vers le haut de la pente (érosion régressive) (Fig. 6 et Fig. 7).

Les ravines sont spectaculaires, mais leur activité est très variable dans le temps et dans l'espace. Certaines sont très anciennes (plusieurs dizaines d'années), mais sont stabilisées après une longue période d'activité, en rapport avec la lithologie, des périodes de surélévation des montagnes ou des changements climatiques ou socio-économiques (Sari, 1977 ; Laouina *et al.*, 2000). Certaines ravines sont très récentes et agressives, en relation avec des averses exceptionnelles (Rapp, 1972 ; Mathys *et al.*, 2000), l'implantation d'habitations ou de routes (Tchotsua *et al.*, 2000), la dégradation du couvert végétal par le feu ou le surpâturage (Sari, 1977 ; Boardman *et al.*, 2000), l'extension de cultures peu couvrantes sur des sols fragiles ou l'imperméabilisation de surfaces par le piétinement du bétail et des hommes (Boutrais, 2000). Toutes ces interventions de l'homme augmentent le ruissellement et les risques de ravinement.

Selon Roose *et al.*, (1999) Cinq types de ravines ont été observés en relation avec leur fonctionnement et la cohésion du manteau pédologique ou lithologique (Fig. 6) :

1. Des ravines en " V " sur des matériaux homogènes et tendres comme les vertisols, les argilites, les marnes et les schistes ;

2. Des ravines en "U" sur des sols hétérogènes comme des sols à croûtes calcaires ;
3. Des ravines "en tunnel" sur les sols à argiles gonflantes et les marnes contenant des sels solubles (gypses) ;
4. Les ravines en relation avec les glissements de terrain sur les pentes fortes ;
5. Les ravines régressives complexes nées du sapement des colluvions par les oueds ou les routes.

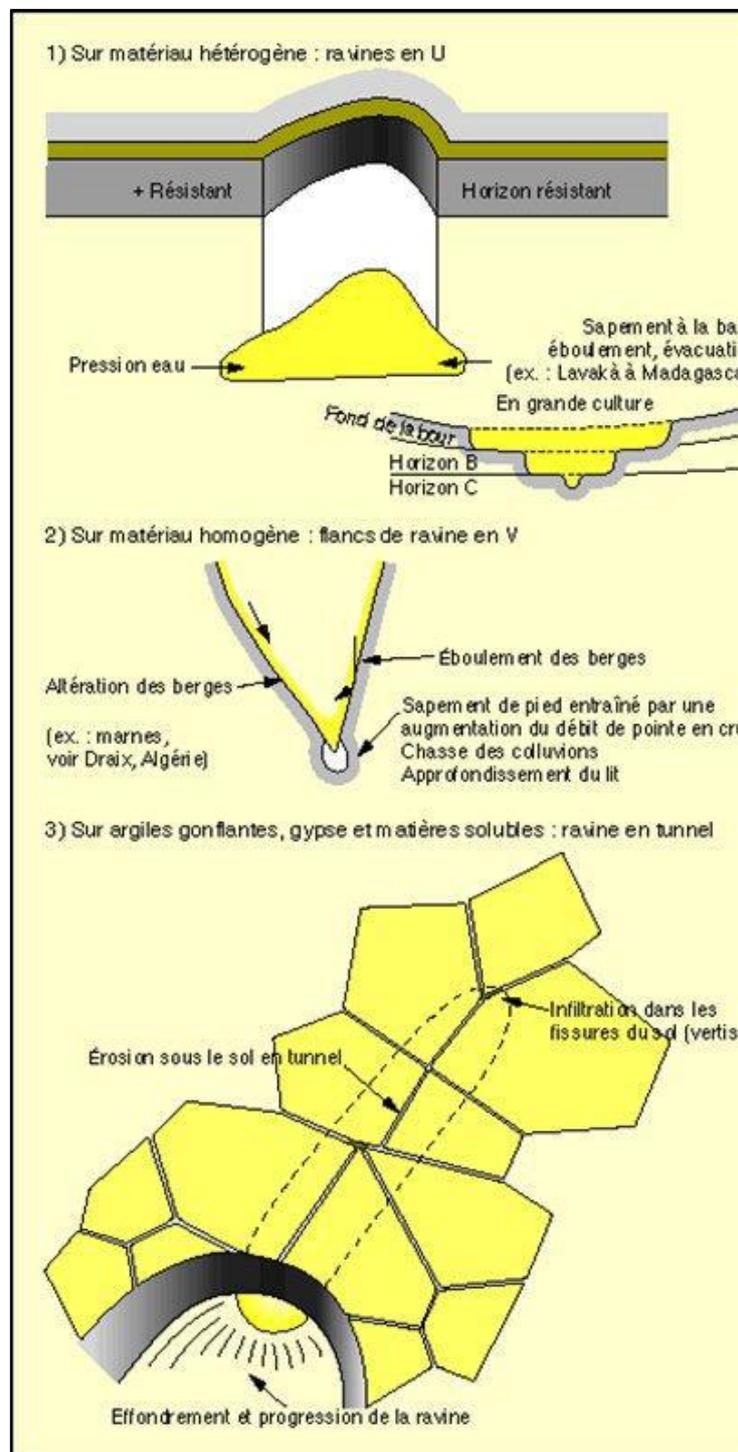


Figure 6. Processus de ravinement en relation avec leur typologie (Roose, 1994)

Deux facteurs principaux contrôlent la dynamique du ravinement : la vitesse du ruissellement (qui dépend de la pente, de la rugosité de la surface du sol et du couvert végétal) et le volume ruisselé (en relation avec les pluies, la capacité d'infiltration des sols, le déficit de saturation et l'encroûtement de la surface du sol) (Roose *et al.*, 1999).



Figure 7. Erosion par ravinement sur le site de Sffisifa, malgré l'existence d'un seuil en gabion en amont.

Cette forme d'érosion peut transformer le paysage en « badlands » et explique également la sape d'ouvrages (ponts, radiers, digues filtrantes...). Lorsque l'aménagement des ravines n'est pas prolongé suffisamment en aval.

La ravine est une rigole profonde où se concentrent les courants d'eau. Lorsque cette rigole sa profondeur ne permet pas de le niveler avec de simples instruments agricoles, il se transforme en ravinement. Autrement dit, ce dernier correspond à un stade avancé de l'érosion linéaire.

a.4 L'érosion des berges (hydrographique)

Cette forme d'érosion est due à la dissipation de l'énergie de l'eau dans le lit des cours d'eau et des Oueds. La force de ces derniers est capable, régulièrement ou accidentellement (lors des crues), d'emporter une partie des berges. Cette action est appelée "sapement des berges". Il a lieu également dans les ravines en formation lorsque les eaux de ruissellement affleurent sur les fondations de la ravine. Cette forme d'érosion est étroitement liée au volume et à la vitesse du flux d'eau, qui dépend de la pente et de son débit (**Fig. 8**).

Le résultat de cette forme d'érosion et la diminution de la capacité du lit de l'Oued par le dépôt de sédimentation entraînant le danger des inondations et menaçant toutes les infrastructures du pays.



Figure 8. Erosion par sapement des berges de l'Oued Sfisifa ; a : lors d'une crue
b : lors de la décrue.

b. Erosion due aux eaux d'infiltration

b.1 La reptation du sol

Il s'agit d'un mouvement lent et imperceptible d'une fine pellicule superficielle constituée du sol sur une pente. La cause de ce mouvement peut être multiple, comme le creusement de trous par des animaux ou la croissance de racines.

b.2 Le glissement de terrain

Le glissement est le résultat de la mise en mouvement d'une masse de terre qui s'effondre vers l'aval et qui se détache d'une autre masse stable placée suivant une surface de séparation et de glissement en amont.

b.3 la solifluxion

C'est la mise en mouvement d'une masse sous l'effet de la reptation des neiges ou d'une humidification excessive sur des terrains en pente.

b.4 L'érosion du sous-sol ou érosion en tunnel

C'est la forme de dégradation la plus insidieuse en faisant beaucoup de dégâts avant d'être visible et laisse à ses débuts la surface du sol intacte. Les dimensions des tunnels peuvent atteindre une profondeur de 5 m et une largeur de 2 m. L'approfondissement des tunnels est seulement arrêté par la roche mère sous-jacente.

Cette forme d'érosion se produit presque toujours dans les conditions suivantes :

- Terrains surpâturés ;
- Destruction de la structure du sol ;
- Formation d'une croûte très imperméable en surface ;
- Sols très peu cohérents ;

- Climat alternativement humide et sec.

I.2.3.2 Les facteurs de risque de l'érosion hydrique

L'érosion hydrique qui s'exerce de manière spectaculaire est due à l'action de plusieurs facteurs dont les plus importants sont :

- Le climat et l'hydrologie ;
- La pente (morphologie de site) ;
- La nature du sol ;
- Le couvert végétal ;
- Les facteurs anthropiques.

A. *Le climat et l'hydrologie*

La principale responsable de l'érosion hydrique est les précipitations atmosphériques, marquées par leur hauteur, leur intensité et leur fréquence. Elles détruisent les agrégats et les mottes en éléments fins qui sont ensuite entraînés par les eaux de ruissellement, provoquant le colmatage et limitant l'infiltration le long des cours d'eau.

Selon **Soltner (1999)**, l'action de la pluie dépend davantage de son intensité que de sa hauteur, ce qui semble évident : une pluie d'orage de 10mm peut faire plus de dégâts qu'une pluie fine 40mm, cela est favorisé par un milieu fragile. Ainsi le vent peut être déplacé par roulement des particules de 1 à 2mm de diamètre et par saltation de 0,1 à 1mm ou en suspension dans l'atmosphère (inférieures à 0,1mm). En effet lorsque le sol est dépourvu de végétation, le climat prend un caractère agressif et provoque une dégradation rapide des horizons superficiels et de forts ruissellements.

D'après **Mazour (2004)**, cette agressivité du climat se traduit par deux types d'averse : les orages d'automne peu fréquents de courtes durées, mais caractérisées par des intensités élevées (soit un maximum annuel en 10mm atteignant 100mm/heure). Elles peuvent provoquer du ruissellement sur des sols non saturés. Les longues averses peu énergétiques tombant sur un sol déjà saturé. Ce sont les averses saturantes d'hivers et de printemps. Elles sont peu intenses, et à l'origine de beaucoup de ruissellement.

B. *La pente (morphologie de site)*

La notion de pente comprend en réalité deux facteurs bien distincts : le degré d'inclinaison du terrain par rapport à l'horizontal et la longueur sur laquelle s'applique ou se manifeste de façon continue un processus. L'influence de la pente (inclinaison, longueur, forme) est très complexe.

Il est bien entendu que, plus la pente est raide, plus l'eau érodera le sol :

- ❖ **Forme** : Les pentes convexes apportent plus de sédiments à la rivière que les pentes concaves où l'on observe des piègeages de sédiments détachés ; d'où les sols colluviaux.
- ❖ **Longueur** : La longueur des pentes a en général peu d'effet sur le ruissellement et l'érosion en nappe car les frottements sur les rugosités du sol empêchent l'accélération des nappes ruisselantes, par contre ; la masse du ruissellement concentré en rigole peut s'accumuler le long d'une pente et ouvrir un impact exponentiel sur l'érosion linéaire.
- ❖ **Inclinaison** : L'inclinaison du versant n'augmente pas toujours le ruissellement, lequel peut être très forte sur des pentes faibles. Par contre la charge solide et l'érosion augmentent de façon exponentielle et l'exposant peut varier de 1.2 à plus de 2 si le sol est mal couvert (**Roose, 1980 in Roose, 1990**).

C. *La nature du sol*

Le principal facteur lié au sol est la résistance (stabilité) des agrégats vis-à-vis des impacts des gouttes de pluie. Une telle résistance ou stabilité est influencée positivement par la présence de substances adsorbantes telles que les argiles, le calcaire et la matière organique. De ce fait, les sols ayant une texture limoneuse sont en général plus sensibles que les sols argileux en raison de leur faible stabilité structurelle. Sur le plan de la stabilité de ces agrégats, la matière organique est l'un des facteurs les plus importants ainsi que la taille des éléments ou des particules du sol joue également un rôle prépondérant. Plus ils sont gros, plus ils sont difficiles à casser et à transporter.

Par ailleurs, la porosité du sol a une incidence indirecte sur le potentiel d'érosion du sol. Plus la porosité du sol est importante, elle augmente l'infiltration et réduit le ruissellement, ce qui diminue le risque d'érosion. Lorsque le sol a une plus grande capacité à stocker les eaux de pluie, cela réduit le volume du ruissellement et celui de l'érosion. Cette capacité de rétention est favorisée par la présence d'une couche arable plus épaisse, la faible teneur en humidité avant les précipitations et la capacité de stockage intrinsèque du sol.

D. *Le couvert végétal*

Le déclenchement du phénomène de l'érosion accéléré dans les zones arides et semi-arides est lié à la disparition de la couverture végétale, qui peut être causée par le changement climatique à long terme ou plus directement par le surpâturage. Cette perte du couvert végétal entraîne l'exposition du sol à l'érosion éolienne et hydrique, tandis que celle des sols entraîne une diminution du potentiel des parcours ou de production agricole dans les parcelles, qui se traduit finalement par une diminution de la charge animale des pâturages. Bien qu'elle se

produise dans les zones arides et semi-arides, l'érosion est le résultat de précipitations rares mais abondantes.

En plus, le surpâturage, qui entraîne une réduction significative de la couverture végétale et contribue au tassement du sol, a pour conséquence de réduire l'infiltration des eaux de précipitations et de multiplier les risques de ruissellement et la formation de ravinements. Les pratiques culturales notamment le labour réduit encore le couvert végétal au début de la saison des pluies, ce qui modifie la structure, la perméabilité ainsi que la résistance du sol face aux effets de la pluie.

Pour freiner l'érosion, le couvert végétal se montre tout particulièrement efficace par le fait qu'il absorbe l'énergie cinétique des gouttes de pluie, permet d'assurer une bonne couverture du sol pendant les périodes de l'année où les pluies sont les plus agressives et confère une bonne porosité à la surface du sol et l'eau s'infiltré en profondeur pour alimenter les nappes phréatiques.

E. Facteurs anthropiques

L'homme est l'une des causes principales de l'érosion, il est responsable des destructions des forêts, du défrichement, des incendies, des surpâturages et des techniques culturales mal suivies. Ce sont les agents de la dénudation artificielle du sol, car dans le monde entier cinq millions de Kilomètre carré de terre cultivable ont été perdus par la faute de l'homme (**Dajoz, 1985**).

Dans notre domaine d'étude, la croissance démographique qui engendre une pression accrue sur les ressources naturelles et les besoins croissants des populations locales ainsi que leur cheptel par rapport aux ressources disponibles. L'augmentation considérable des effectifs du cheptel, qui conduit à un déséquilibre entre la capacité fourragère naturelle des parcours steppiques et les besoins des animaux, ce qui amène les éleveurs à avoir recours à la céréaliculture principalement l'orge, malgré leurs faibles rendements enregistrés pour assurer un complément alimentaire à leurs troupeaux, que ce soit en grain, en paille ou même en chaume. Cette extension de la culture sur des terres qui étaient auparavant réservées au pâturage, ce qui a entraîné la dégradation de vastes aires, donnant lieu à un paysage aux terres désertifiées, marquées par une érosion intense.

Il est nécessaire d'identifier les zones qui sont affectées par l'érosion ainsi que les risques associés, tels que les moyens de prévention mis en œuvre. En utilisant des bases de données ou des images, cela permet de quantifier l'importance des mécanismes d'érosion actuels et éventuellement la partie liée aux activités humaines et d'intervenir en fonction de la gravité et la priorité de chaque situation.

I.2.3.3 Conséquences de l'érosion hydrique

A l'échelle mondiale, l'érosion hydrique est un problème sérieux dont la gravité varie d'un site à un autre. Ce phénomène modifie en effet la forme et les caractéristiques hydrologiques des paysages, et provoque souvent des mouvements de terrain. Cette situation a de graves conséquences sur la biodiversité comme sur la sécurité de tous ceux qui sont à proximité immédiate de ces milieux. L'érosion hydrique entraîne également une dégradation de la qualité de l'eau causée par les matières en suspension.

Les conséquences de l'érosion hydrique sont multiples, dont les plus importantes sont :

I.2.3.3.1 Au niveau du sol

Le sol se retrouve à nu une partie de l'année pendant laquelle il n'est plus protégé des eaux météoriques ainsi que des vents. En particulier, les horizons supérieurs, qui correspondent aux horizons les plus fertiles (notamment par leur richesse en humus) et les plus meubles peuvent alors être lessivés par les pluies et emportés par les vents.

Les répercussions de l'érosion des sols vont au-delà de la perte de sol arable. La levée, la croissance et le rendement des cultures sont directement affectés par l'appauvrissement du sol en éléments nutritifs (humus et engrais). L'érosion peut déplacer ou carrément emporter les semences et les plants.

I.2.3.3.2 Influence sur le régime des eaux

A la suite de la diminution de l'infiltration, les nappes sous terraines ne sont plus alimentées ; les sources tarissant en saison sèche, en saison humide la masse d'eau de ruissellement gonfle les cours d'eau et provoque des crues brutales et dangereuses.

Ces particules de sol, emportées en suspension, sont susceptibles d'avoir un impact sur la biodiversité de l'environnement et la qualité de l'eau lorsqu'elles sont présentes en trop grande quantité. Elles conduisent alors à l'envasement des retenues collinaires et des seds situées en aval du bassin.

I.2.3.3.3 La dégradation des routes, des voies ferrées et des ponts

En Algérie, à chaque période pluvieuse, il y a pratiquement toujours des coupures de routes par des sédiments qui peuvent s'accumuler au bas des pentes et contribuer à la détérioration de ces routes ou par sapement des berges de celles-ci situées près des cours d'eau, des voies ferrées temporairement inaccessibles et des ponts endommagés sur les routes.

Pendant toutes ces années, les budgets des autorités locales et régionales ont été sérieusement alourdis par cette situation. Dans le cadre de la lutte contre l'érosion environnementale, la sécurité des personnes et des infrastructures peut être menacée. Lors de la construction d'un ouvrage, l'érosion est l'un des phénomènes à prendre en compte afin d'éviter

tout risque de défaillance des infrastructures à long terme. Les bâtiments construits directement sur la rive des oueds peuvent subir des dommages si la rive recule. La stabilité des ouvrages de franchissement (ponts, voies ferrées) peut également être menacée si le cours d'eau est incisé.

I.2.3.4 Quantification de l'érosion hydrique

Le mode d'évaluation et de cartographie du phénomène d'érosion hydrique varie avec les objectifs, et selon les moyens engagés ainsi que les échelles du travail. On peut procéder à la quantification par des mesures directes ou des évaluations indirectes.

A. Mesures directes

- Mesures topographiques (Ce principe est fondé en particulier sur le suivi des évolutions topographiques de la surface du sol, dont les mesures effectuées par rugosimètre (une estimation de la variation de la hauteur du sol par rapport à un plan référentiel))
- Simulation de la pluie : Cette technique a pour objectif de déterminer quelques caractéristiques hydrodynamiques relatives aux sols sur une petite échelle et sous différentes conditions de pluie et de sols (le modèle de mini-simulateur O.R.S.T.O.M. employé par INRF notamment).
- Parcelles expérimentales de 100 m² : ou bien la parcelle de ruissellement est une portion du terrain artificiellement délimitée, ayant une forme rectangulaire, localisée sur une pente à l'intérieur d'un champ agricole (L'objectif visé est pour chaque type de parcelle à évaluer les facteurs liés au déclenchement physiques et agronomiques de l'érosion, puis de comparer le comportement des différentes parcelles afin de juger l'efficacité des méthodes antiérosives testées).
- Mesures des écoulements liquides et solides des cours d'eaux : (Des mesures hydrométriques et de la qualité de l'eau (MES) au niveau d'une station de jaugeage installée à l'exutoire des petits bassins versants doivent couvrir plusieurs années pour être représentatives dans le temps).

B. Mesures indirectes

B.1 Utilisation de radio-isotopes

Césium¹³⁷ (En comparant la quantité de ¹³⁷Cs présente dans les sols jugés stables à celle des sols en érosion ou en accumulation, puis en utilisant des modèles empiriques, nous pouvons estimer la quantité de particules érodées ou accumulées au cours des 40 dernières années).

B.2 La Modélisation de l'érosion du sol

D'après **Tahiri et al., 2014** plusieurs équations ont été établies pour lier les facteurs d'érosion entre eux et quantifier les pertes de sol : Universal Soil Loss Equation (USLE) de **Wischmeier et Smith (1978)**; Water Erosion Prediction Project (WEPP) de **Flanagan et**

Nearing (1995); Soil and Water Assessment Tool (SWAT) de **Arnold et al., (1998)**; European Soil Erosion Model (EUROSEM) de **Morgan et al., (1998)**. D'autres modèles par la suite ont été basés sur l'équation universelle de perte de sol (USLE) de **Wischmeier et Smith (1978)** et ses versions modifiées (MUSLE) et révisées (RUSLE).

Le but de cette étude consiste à déterminer et à appliquer une méthodologie pour l'estimation quantitative de l'érosion hydrique et à élaborer la carte d'érosion à l'aide de systèmes d'information géographique (SIG) au sein du bassin versant d'Oued Ain Sefra, pour bien planifier les actions de développement à entreprendre et protéger en priorité les zones à haut risque d'érosion hydrique.

B.2.1 Quantification et évaluation de l'érosion hydrique en utilisant le modèle RUSLE et déposition intégrée dans un SIG

Parmi ces modèles empiriques disponibles pour l'estimation de et du transport solide, la version révisée de l'équation universelle de perte de sol (RUSLE), Elle est employée pour calculer l'érosion moyenne annuelle attendue sur les versants en multipliant plusieurs facteurs réunis. Elle s'exprime selon la formule suivante :

$$A = R * K * LS * C * P \quad (Eq. II)$$

Avec:

A : perte annuelle moyenne du sol due à l'érosion (t/ha/an) ;

R : indice d'érosivité (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ an⁻¹) ;

K : facteur de l'érodibilité du sol (t/ha/MJ/mm.ha.h) ;

LS : facteur topographique, tient compte de la longueur de la pente (*L*) et de son inclinaison (*S*);

C : facteur de couverture végétale, incluant la régie des cultures et des sols et les pratiques culturales ;

P : facteur des pratiques de soutien (ou pratiques culturales antiérosives).

Le croisement des cartes des principaux facteurs intervenant dans l'érosion hydrique des sols permet d'obtenir la carte des pertes en sols en tout point du bassin versant. Nous allons développer cela en détail dans le chapitre : Évaluation spatiale de l'érosion hydrique à l'aide de RUSLE intégré dans le SIG.

B.2.2 La télédétection : définitions, historique, domaines d'application

❖ Définition

La télédétection spatiale "*Remote Sensing*" est une discipline scientifique qui intègre un large éventail de compétences et de technologies utilisés pour l'observation, l'analyse et l'interprétation des phénomènes terrestres et atmosphériques. Ses principales sources sont les mesures et les images obtenues à l'aide de plates-formes aériennes et spatiales. Comme son nom

même l'indique, la télédétection est l'acquisition de l'information à distance, sans contact direct avec l'objet étudié (Eugenio *et al.*, 2013).

La télédétection englobe un ensemble de processus qui consiste à capturer et à enregistrer les énergies des radiations électromagnétiques émises ou réfléchies, à les traiter pour les analyser, puis à appliquer ces informations. Les données de télédétection sont collectées soit par des avions ou drones, soit par des satellites. Actuellement, les satellites se chargent principalement de l'acquisition des données de télédétection. Une multitude de satellites en orbite permettent d'observer et de surveiller l'état de la surface terrestre (Fig. 9).

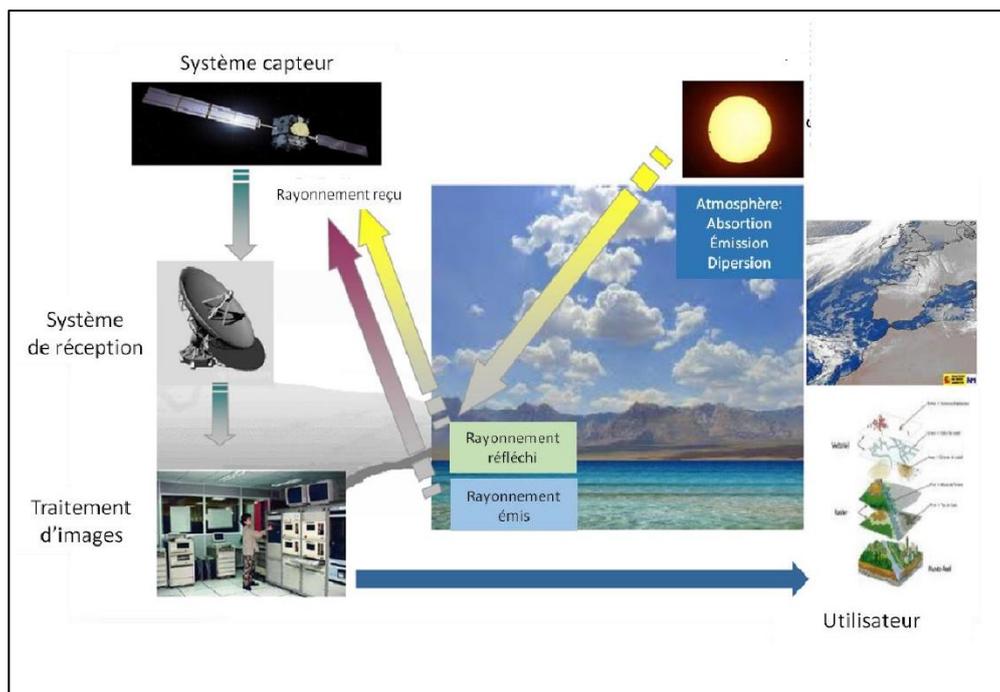


Figure 9. Télédétection : schéma général de fonctionnement

Selon Eugenio *et al.*, (2013), Les systèmes de télédétection, en particulier ceux qui sont situés sur des satellites, offrent une vision répétitif et synoptique de la Terre de grande valeur dans le suivi et l'analyse de l'effet des activités humaines sur le même comme l'évaluation et la surveillance de l'environnement (croissance urbaine, déchets dangereux), la détection et la surveillance des changements globaux (appauvrissement de l'ozone atmosphérique, déforestation, réchauffement climatique), l'exploration, les ressources non renouvelables (minéraux, pétrole, gaz naturel) et les ressources naturelles renouvelables (océans, forêts, terres), la météorologie (prévision météorologique, les processus dynamiques atmosphériques), la cartographie (topographie, utilisation des terres, génie civil), etc.

❖ *Les apports de la télédétection et SIG dans l'agriculture*

Chaque producteur agricole nécessite un ensemble d'informations afin de gérer plus efficacement ses cultures. Pour cela, il doit disposer sur place des outils d'information qui

facilitent la planification de ses activités et qui lui permettent de faire face aux multiples dangers qui peuvent menacer sa production, tels que la dégradation des sols, les infestations d'insectes, les intempéries, la sécheresse ou les dommages liés au stress des plantes, qui peuvent affecter le potentiel de sa culture et la qualité de ses terres.

Les images satellitaires et aériennes sont utilisées pour classer les cultures, étudier l'occupation du sol, assurer la santé et la viabilité de la production et contrôler les mesures d'intervention. Parmi les applications de la télédétection en agriculture, on peut citer les suivantes :

- La classification des types de cultures et sols (occupation du sol) ;
- Le contrôle des ravageurs et des maladies des cultures ;
- L'estimation de la production totale d'une récolte ;
- La cartographie des caractéristiques du sol ;
- La cartographie des pratiques de gestion du sol ;
- Évaluation des dommages causés par la sécheresse, les inondations, érosion hydrique, érosion éolienne, tempête, désertification et ensablement... etc ;
- Agriculture de précision.

Pour les pays en développement, où la cartographie de base fait souvent défaut, seules les images satellites sont réellement fiables pour l'identification, le suivi et la cartographie de la couverture terrestre.

Pour la gestion des ressources et la planification des activités des paysans dans les régions arides, en particulier notre bassin versant où l'identification de la couverture des sols et l'état de l'érosion sont essentiels. Elle sert également à établir une base de référence à partir de laquelle des actions d'intervention et de détection des changements peuvent être menées.

❖ *Utilisations des SIG pour la cartographie du risque d'érosion au niveau du bassin versant*

Les informations qui peuvent être obtenues grâce aux techniques de télédétection évoquées ci-dessus permettent de calibrer ou d'exploiter plusieurs modèles numériques relatifs aux bassins versants, particulièrement dans les zones où les données sont limitées ou rares. Une série de données appropriées comprend : les classifications d'utilisation des terres, les paramètres du système hydrologique, quelques autres caractéristiques physiographiques telles que la superficie et la forme d'un bassin versant, l'organisation du système hydrographique, la densité et le système de drainage, les caractéristiques des canaux individuels peuvent permettre

à la personne chargée de l'enquête d'estimer le débit annuel moyen de crues d'un bassin versant, et la vitesse à laquelle un bassin versant réagit à un phénomène météorologique particulier.

La connaissance de l'utilisation des terres dans les bassins versants est importante car une étude des caractéristiques de la couverture de surface peut être utilisée pour affiner les estimations de la quantité, de la qualité et du moment de la périodicité hydrique pour un phénomène météorologique ou un traitement de bassin versant donné.

Actuellement, les systèmes de télédétection aérienne et satellitaire (opérationnels et expérimentaux) peuvent apporter une contribution importante à la gestion des bassins versants, notamment la cartographie des pertes de sol, les inventaires des eaux de surface, la gestion des inondations, la surveillance hydrologique de l'utilisation des terres et la modélisation des bassins versants.



CHAPITRE II

Conservation de l'eau et du sol et stratégie
d'aménagement

Chapitre II Conservation de l'eau et du sol et stratégie d'aménagement**Introduction**

Les versants méditerranéens ont la réputation d'être très sensibles aux phénomènes d'érosion pour les raisons écologiques (pluies erratiques, relief jeune), historiques (succession des civilisations) et démographiques (forte pression foncières). Les mesures des différents processus depuis la parcelle jusqu' aux bassins versants ont montré que l'érosion en nappe est faible mais que le ruissellement augmente avec le pâturage et l'extension puis l'abondance des cultures, entraînant le ravinement, la dégradation des berges des oueds lors des fortes crues des inondations (**Roose et al., 2001**).

Les régions arides présahariennes du Sud-Ouest Algérien subissent actuellement de fortes pressions humaines et animales qui ont contribué à une sévère dégradation des sols et du couvert végétal. Par ailleurs, le défrichement, le surpâturage et des pratiques agricoles souvent inadaptées (culture aléatoire de céréales) sont des facteurs anthropiques qui ont accentué les phénomènes de dégradation du sol.

Le combat de l'érosion sous toute ses formes (éolienne et hydrique) et en particulier contre celle de cette dernière est l'objectif principal des actions de conservation de l'eau et des sols. Des préoccupations ont été soulevées plus récemment concernant l'amélioration de la productivité agropastorale de ces zones arides. Le phénomène s'aggrave sans cesse pour devenir désastreux chaque fois que des pluies torrentielles sont enregistrées sur une région donnée. Les populations sédentaires comme nomades sont bien conscientes en effet du phénomène de l'érosion hydrique et ont depuis longtemps été formées à réduire ses effets néfastes à travers l'adaptation des techniques traditionnelles de gestion des eaux de ruissellement et de conservation des sols sur place.

De nombreuses techniques sont mises en œuvre, dont la méthode la plus répandue est la conservation des eaux et des sols correspondant à un ensemble de pratiques mécaniques, biologiques, culturelles et agronomiques, ainsi que les dispositifs préconisés soit par la population locale, ou par l'Etat pour une meilleure maîtrise de la gestion des ressources naturelles disponibles.

Cependant, beaucoup de ces techniques ont été abandonnées au fil du temps, suite à certains événements historiques (colonisation, décolonisation, exode rural, décennie noire...) et aux changements intervenus en matière d'utilisation des terres. Il existe cependant certaines techniques qui défient le temps, que les paysans ont entretenues et parfois même améliorées.

Cette étude visait donc à évaluer l'impact de certaines techniques antiérosives utilisées au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra pour la conservation des eaux et des sols et l'amélioration de la productivité agropastorale de la région. Ce travail fait ressortir l'implication de différents acteurs de la conservation de l'eau et des sols, mais également de la mise en œuvre de ces techniques effectuée soit par les paysans ou par les services publics concernés.

II.1 La notion de conservation de l'eau et des sols

Selon le WOCAT (Le panorama mondial des approches et techniques de conservation) ou (World Overview of Conservation Approaches and Technologies) en 1992, la conservation des sols et des eaux est définie comme les activités au niveau local destinées à maintenir ou à améliorer la capacité productive des terres dans les zones affectées ou sujettes à la dégradation. La conservation des sols et des eaux comprend la prévention ou la réduction de l'érosion des sols, du compactage et de la salinité, la conservation ou le drainage de l'eau du sol, l'entretien ou l'amélioration de la fertilité des sols.

La conservation du sol regroupe toutes les méthodes relatives à la gestion et à l'utilisation des terres qui permettent de prévenir les pertes ou la détérioration du sol par des causes naturelles aussi bien qu'humaines. Le plus souvent, elle vise à gérer les sols pour lutter contre l'érosion des sols par les eaux de pluie, le ruissellement et le vent. Elle tente également de protéger les sols contre les dommages causés par les engins agricoles (compactage) et contre les modifications néfastes de leurs propriétés chimiques (acidification et salinisation ...). Concernant les pâturages, les pratiques de gestion pastorale consistent notamment à limiter les effectifs du cheptel par la mise en défens des parcours (laisser le sol se reposer et se régénérer après le pâturage).

II.2 Aperçu historique sur les techniques de conservation de l'eau et des sols

Depuis 7 000 ans, l'homme a accumulé les traces de sa lutte contre l'érosion et la dégradation des sols, en vue d'améliorer la gestion de l'eau et la fertilité des sols, (**Lowdermilk, 1953**) cité par **Roose (1994)**. Avec le temps, différentes techniques ont été employées dans l'environnement méditerranéen pour préserver les sols contre le phénomène d'érosion et exploiter les eaux de ruissellement à des fins agricoles. Ces techniques ont été développées par les populations de la région en fonction de leurs besoins et de la disponibilité des moyens.

Chaque société est confrontée à des problèmes liés à la dégradation du milieu due aux différents types d'érosion et a tenté par des stratégies traditionnelles adaptées à cette situation pour remédier à la pression exercée sur les sols en valorisant les eaux de surface afin d'améliorer la productivité des sols et de stabiliser les pentes. L'analyse de la répartition spatiale des systèmes de lutte et des causes et leur disparition montre que l'efficacité des méthodes traditionnelles est strictement liée aux conditions économiques des sociétés où elles se sont développées.

A l'occasion de graves crises sociales se sont développées des stratégies modernes d'équipement hydraulique des montagnes, il s'agit essentiellement de reforestation des hautes vallées, d'amélioration foncières, de correction des torrents et ravins et de terrassement des terres cultivées sur fortes pentes. La priorité a été donnée à la réalisation de gros chantiers de terrassement et de

reforestation. Des stratégies modernes d'équipement ont été mise en place pour répondre aux trois crises sociales suivantes :

- Restauration des terrains de montagnes (RTM) en 1850 dans les Alpes.
- Conservation de l'eau et des sols (CES) et la crise de 1930 aux USA.
- Défenses et restauration des sols (DRS) autour de la méditerranéen durant la période 1940 jusqu'au 1980.

Après l'atelier de Porto Rico (**Molson et Hudson, 1987**) in (**Roose, 1994**) une nouvelle approche est née :

- La gestion conservatoire de l'eau et de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) tente de mieux tenir compte des contraintes paysannes et cherche à valoriser le travail tout en réduisant le risque de l'érosion et en respectant certaines règles.

L'état Algérien, via le Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Direction Générale des Forêts, les Services d'Hydrauliques et le Haut-Commissariat au Développement de la Steppe (HCDS), réserve annuellement un budget pour la création et l'entretien des ouvrages de conservation des eaux et des sols dans le pays, et ce dans le cadre de ses programmes de développement (PNDA, PPDR, Tup Himo...). Ainsi, au niveau local, les délégations, avec la participation de la population, des agriculteurs, des éleveurs et le mouvement associatif identifient les zones prioritaires et procèdent à l'application des actions appropriées et intègrent la population dans le processus de réalisation et d'entretien des ouvrages existantes.

Aujourd'hui les techniques antiérosives ont été normalisées et font partie de programme pour préserver la biodiversité des zones steppiques qu'il avance bien dans la Wilaya de Naâma. Ce programme lancé en 2011, concerne la zone d'El Noufikha (Sfissifa). Il vise l'extension du couvert végétal sur une surface de 1 300 hectares (ha) et la régénération de la nappe alfatière et des plantes de tamarix, de l'armoïse, du jujubier sauvage et de l'Atriplex, en plus d'autres espèces adaptées aux conditions climatiques locales, dont l'acacia et le pistachier de l'Atlas. Le programme de la conservation des forêts de Naâma prévoit, au titre de l'année 2016, le lancement, dans le cadre de la protection des zones pastorales, d'une série d'opérations devant toucher également les zones pastorales, s'étant dégradé du fait de l'avancée des sables, du manque de pluies et du recul des rendements fourragers. Ces opérations ont permis d'atteindre des résultats palpables, notamment en matière de lutte contre le phénomène de la désertification et l'érosion et la protection de la biodiversité dans cette région, notamment la valorisation des ressources naturelles, la protection des espèces animales et végétales menacées, la lutte contre la surexploitation des sols fragilisés par les labours illicites et anarchiques (**D.G.F., 2018**).

II.3 Les techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols

La conservation de l'eau et des sols (C.E.S) a été développée par H. Bennet aux USA depuis les années 1930 pour réduire les influences néfastes de l'érosion hydrique sur la qualité des eaux de surface et sur l'érosion des sols cultivés. Depuis lors, des sommes importantes ont été dépensées dans le monde et en particulier en Algérie, pour réduire les problèmes d'érosion et protéger la qualité des eaux de surface.

Dans plusieurs régions du pays, en particulier dans les zones arides, où les ressources en eau sont limitées et où l'installation de grandes ouvrages hydrauliques est injustifiée compte tenu des apports très limités et du taux d'évaporation très élevé, plusieurs techniques innovantes ont été adoptées pour la conservation de l'eau et des sols de ces régions. Diverses stratégies paysannes de collecte et de gestion de l'eau ont été développées pour donner naissance par la suite à des stratégies locales.

Les techniques utilisées dans le domaine de la gestion des terres et la lutte contre l'érosion sont nombreuses et diversifiées, Leur classification peut se faire sur la base plusieurs critères généralement sont présentés en fonction de leur nature et leur fin qui dépend principalement des matériaux qu'ils utilisent.

II.3.1 Ouvrages et structures construits

A. Les cordons et les murs en pierres

Des pierres dégagées par les labours sont empilées sans structure particulière sur de gros rochers, puis alignées en cordons le long des courbes de niveau. De tailles très variables, elles sont parfois également déposées directement sur le sol et empilées progressivement selon leur disponibilité. Ces empilements donnent naissance à des cordons continus ou discontinus selon l'importance de la charge caillouteuse des champs. Ils ont une largeur de 30 à 70 cm et une hauteur variable selon la pente (de 30 à 100 cm), et peuvent former des terrasses progressives qui tendent vers l'horizontale sans jamais l'atteindre (**Roose et al., 2010**).

Cet épierrage permet de nettoyer les terres des débris de roches et d'améliorer leur capacité de production, les cordons qui existent dans notre région sont le fruit d'un travail familial ou d'une contrainte sociale (Touiza) (**Fig. 10.a**).

B. Les murettes

Sur des pentes moyennes à fortes, on aboutit rapidement à la formation de terrasses progressives par le rejet des sols de la tranchée en amont, par l'érosion hydrique et surtout par l'érosion mécanique sèche lors des façons culturales. Ce nivellement permet d'accumuler suffisamment de terre pour la croissance des arbres fruitiers et le développement de cultures intensives. La hauteur du talus

est généralement comprise entre 1 et 3 m et la largeur de la terrasse entre 1 et 10 m selon la pente (**Fig. 10.b**).

C. Les murs en toub

Le matériau de construction est naturel, Le toub : il s'agit de petites briques d'argile mélangées avec de la paille et/ou des débris végétaux préalablement humidifiés, confectionnées très facilement sur le chantier, et séchées au soleil, ce toub possède une excellente qualité exothermique. Ces briques séchées sont utilisées pour la construction de murs d'isolation des propriétaires (Behayra) et les protègent contre toutes sortes de facteurs extérieurs (**Fig. 10**).

D. Les terrasses

Dans le but de gérer convenablement les terres et de dissiper l'énergie du ruissellement, les paysans de la région ont développé des terrasses. Il s'agit des constructions qui arrivent à casser la pente et permettent une augmentation de l'infiltration et une valorisation des terrains en pente. Ce sont des techniques de soutènement adaptées selon les conditions du relief et la disponibilité des pierres, soit par des talus en terres, soit par des murs en pierre (**Fig. 10**). Cet aménagement se trouve souvent aux fonds des vallées, la plupart des cas en colonisant les propres terrasses du lit d'inondation des oueds. Ces constructions dépendent aussi des besoins de l'agriculteur et du niveau de productivité ou du rendement escompté (**Rodriguez-J et al., 2015**).

E. Les talus

Il s'agit d'une rupture de pente provoquée par les paysans entre deux parcelles pour servir de limite. Elle est taillée au fil du temps dans les formations superficielles, le sol ou dans la roche en place lorsqu'elle est tendre (schisteuse ou marneuse). Les talus créés par creusement intentionné existent aussi dans la région, mais ils sont moins fréquents que ceux provoqués par le labour (**Al Karkouri et al., 2000**).

F. Les rampes de pailles

Ce système traditionnel qui consiste à former une barrière plus ou moins horizontale de végétaux morts afin de limiter les pertes de sol sur les fortes pentes cultivées. À cette fin, les agriculteurs enfoncent des piquets de bois dans le sol derrière lesquels ils empilent des branches ou des résidus de culture. Ils forment ainsi des rampes mortes qu'ils combinent généralement avec des billons sur lesquels sont placées les plantes cultivées.



a: Cliché Melalih A., 2011



b: Cliché Melalih A., 2015

a: Cordons en pierres b: Murette (région de Sfisifa)



Cliché Melalih A., 2015



Cliché Melalih A., 2017

Aménagement du terrain en terrasse irriguée



Cliché Melalih A., 2015

Isolation des jardin avec des murs en toub (Sfisifa)

Figure 10. Techniques des aménagements de correction de la pente.

II.3.2 Dérivation et stockage des eaux

A. Séguia

Canalisation de dérivation, de collecte des eaux de ruissellement et d'irrigation à ciel ouvert, construite en terre, en pierres agencées ou en béton armé. Ce système rudimentaire implique d'importantes pertes d'eau par évaporation (**Fig. 11**).

B. Sed

Ouvrage de stockage d'eau à l'amont d'une diguette réalisé généralement en terre transversalement à un cours d'eau temporaire avec une espèce de déversoir latéral. D'une capacité de quelques milliers de m³, il est généralement réparé ou entièrement refait après chaque crue importante par la Touiza (chantier de volontaires) (**Mazour et al., 2008**).

C. Madjen

C'est un bassin qui sert à stocker les eaux, avant qu'elles n'atteignent le réseau de seguias qui les distribue ensuite aux jardins. Il est creusé dans la partie la plus haute des jardins pour permettre à l'eau d'atteindre par gravité les points les plus bas de ceux-ci. Sa dimension est fonction de sa part d'eau et prend différentes formes géométriques (rectangulaire, circulaire...). Cette eau est destinée à l'irrigation du jardin voire à l'abreuvement du petit élevage (**Fig. 11**).

D. Jboub

Les eaux de surface et de ruissellement qui comprennent le réseau des oueds, de même qu'au niveau de certains ravines, sont stockées dans les Jboub qui ont été construits par la population pour profiter de ces eaux (abreuvement), leur activité n'ayant lieu qu'en période de crue.

E. Daya

Dépression naturelle ou artificielle qui récupère les eaux pluviales, quand la pente est trop faible pour créer des lignes de drainage. Sa taille est très variable, allant de quelques mètres à quelques hectares. Après une saison pluvieuse, leurs sols limoneux retiennent l'humidité pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois et puis s'assèche pendant l'été. Elles constituent les milieux les plus fertiles des régions arides et sont largement exploitées par les nomades : abattage des arbres, culture ou pâturage (**Fig. 11**).



Séguia dans la région de Ras El Oued (Sfissifa)



Madjen dans la région de Tiout



Daya dans la région de Oulakak (Sfissifa)

Figure 11. Structures de dérivation et du stockage des eaux.

II.3.3 Techniques culturales

A. Le paillage

Consiste à étaler des résidus de récolte sur les parcelles sensibles à l'érosion. La paille en absorbant l'énergie cinétique des gouttes de pluie, contribue à protéger la surface recouverte contre l'agressivité des précipitations en limitant plus spécialement les effets de l'érosion Splash. Le paillage agit de différentes façons par la matière organique qu'il apporte, il enrichit le sol et améliore ses qualités physiques en augmentant la perméabilité, il protège des effets d'érosion par le vent et empêche de former sur la surface du sol une mince couche compacte s'opposant à la pénétration de l'eau. Les expériences de recherche ont montré que l'absorption de l'eau par un sol couvert de graminées est sept fois plus forte que pour un sol nu (**Boufaroua et al., 1998**).

B. Cultures en billons

Selon **Mazour (2004)** le labour suivi d'un billonnage pouvait augmenter les risques d'érosion par le simple fait qu'il augmente la pente du terrain, mais si on oriente le billon, perpendiculaire à la plus grande pente, ceux-ci peuvent stocker dans le sillon une quantité non négligeable d'eau et de matériaux sableux ou limoneux en suspension. Le billonnage en courbe de niveau est deux fois plus efficace que le simple labour en courbe de niveau, il réduit l'érosion à environ 30 % du témoin travaillé à plat pour des pentes de 1 à 8% mais l'efficacité du billonnage diminue lorsque la pente augmente (**Fig. 12**).

C. Les cultures associées

En associant plusieurs cultures sur le même champ on essaie de cumuler les avantages de l'assolement ou de la rotation sur le même champ au cours de la même année. Dans le but est l'utilisation maximale du potentiel du sol et de la parcelle, utilisation d'effets interactifs positifs entre les différentes cultures et la création d'une ambiance défavorable pour les mauvaises herbes, insectes et maladies nuisibles aux cultures.

En particulier l'implantation des haies vives tous les 5 à 10 mètres permet de produire une masse de fourrage et de paillage qui peuvent retourner du sol durant la culture. On utilise généralement des arbustes légumineux ayant un enracinement profond et capable de produire entre 4 et 8 tonnes de matière organique sèche/ha/an (**Balasubramanian et Sakayange, 1992 ; Ndayizigiye, 1992 ; Konig, 1992**) citer par **Mazour (2004)**.

Selon le même auteur, le bocage ou l'association étroite entre les cultures, l'élevage et l'arboriculture ; actuellement face à la mécanisation et l'industrialisation de l'agriculture, la crise économique et la désintégration des sociétés traditionnelle entraînent l'abandon de ces méthodes décrites avec admiration par des géographes et des ethnologues mais méprisées par des experts

«modernes» en conservation des sol qui les considèrent comme insuffisantes pour résoudre les problèmes d'aménagement des grands bassins versants (**Fig. 12**).

D. Utilisation du fumier

Les sols riches en matière organique ont une bonne résistance à l'érosion hydrique. De fait, la présence d'humus après sa décomposition, présente des réserves de nutriments pour les plantes et les microorganismes du sol, ainsi que leur colonisation par les racines, ce qui améliore la structure, l'aération et la capacité de rétention du sol et lui confère une meilleure résistance à l'érosion hydrique (**Fig. 12**).

E. Travail à l'araire

Cet instrument est particulièrement adapté aux conditions locales du terrain (pente, sol...). L'araire est conçu, la plupart du temps, pour deux animaux, comme il peut aussi être fabriqué pour un seul animal de trait. On utilise d'abord l'araire pour labourer en faisant des sillons dans les champs avant de semer. Elles sont également utilisées pour enterrer le fumier et d'autres engrais, et pour désherber entre les rangs. Elle sert également à recouvrir les graines lorsque le semis se fait à la volée, comme c'est le cas pour les céréales et certaines petites légumineuses (**Fig. 12**).

F. Cuvettes d'infiltration

Ce sont des cuvettes naturelles ou construites qui retiennent les eaux de pluie ou de ruissellement pour leur permettre de s'infiltrer dans le sol. Elles sont entourées de bourrelets en forme de demi-lune faits de terre tassée, souvent recouverts de pierres et recouverts souvent d'une couche d'humus. Dans ces cuvettes, on retrouve diverses plantations d'arbres (fruitiers ou autres), qui vont contribuer à l'infiltration de l'eau par leur système racinaire. Le diamètre de la cuvette varie de 1 à 3 mètres selon la densité de la plantation (**Fig. 12**).



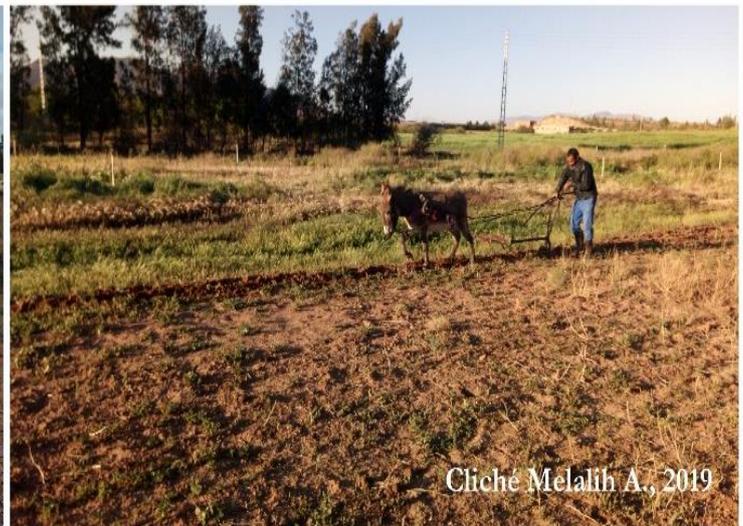
Culture en billons



Cultures associées: Arboriculture, maraichère, Apiculture



Utilisation du fumier



Travail à l'araire



Aménagement des parcelles en cuvettes d'irrigation (Guemoun)

Figure 12. Techniques et aménagements culturels de CES.

II.4. Techniques et approches modernes d'aménagement des bassins versants

A l'occasion de graves crises sociales se sont développées des stratégies modernes d'équipement hydraulique des montagnes. Il s'agit essentiellement de reforestation des hautes vallées, d'améliorations foncières, de correction des torrents et ravins et de terrassement des terres cultivées sur fortes pente. La priorité a été donnée à la réalisation de gros chantiers de terrassement et de reforestation (**Roose et al., 2010**).

II.4.1 La restauration des terrains en montagne (RTM)

A été développée en France à partir des années 1850, pour faire face à la crise d'érosion due aux montagnards qui ne pouvaient survivre sans mener leurs troupeaux sur les terres communales déjà surpâturées. La dégradation des couvertures végétales et le tassement des sols par le bétail ont entraîné le développement catastrophique des torrents. Pour protéger les vallées aménagées et les voies de communication des masses de terre mobilisées par ceux-ci, l'Office national des forêts a racheté les terres dégradées en France, reconstitué la couverture végétale et corrigé le lit des torrents (**Lilin, 1986**) citer par **Roose et al., (2010)**.

II.4.2 La conservation de l'eau et des sols (CES)

A été créée en 1930 aux États-Unis pendant la crise économique du pays, dans le but de conseiller des agriculteurs volontaires qui demandaient aux agronomes un accompagnement technique et financier pour combattre l'érosion. De fait, l'expansion rapide des cultures industrielles à faible couverture (coton, arachides, maïs) dans la région de Grande Prairie a provoqué le déclenchement de l'érosion éolienne, dont 20 % des terres cultivables étaient alors dégradées. L'objectif de cette action consiste à modifier les systèmes de culture pour absorber l'énergie des pluies sur les champs en améliorant la couverture végétale. Afin de réduire le ruissellement depuis son origine, la réflexion porte cette fois sur le développement du couvert végétal, la gestion des résidus de culture et les techniques culturales conservatrices.

II.4.3 Défense et restauration des sols (DRS)

La lutte contre l'érosion s'est développée en Algérie avec une stratégie d'équipement rural appelée la DRS, puis autour du bassin méditerranéen vers les années 1940-1960. Dans le cadre de cette enquête, 10 types d'aménagements ont été répertoriés, couvrant 387 833 hectares dans 30 wilayas représentatives de la moyenne montagne méditerranéenne algérienne : 80 % des surfaces aménagées sont en banquettes, dont 20 % sont effacées par les labours, 30 % sont détruites par ravinement/glissement, 30 % n'ont jamais été entretenues et sont en mauvais état et seulement 20 % sont en bon état, mais on peut se demander si elles ont fonctionné (**Arabi et al., 2004**). Il s'agissait avant tout de mettre en défens les terres dégradées par le surpâturage et le défrichement et de restaurer leur potentiel d'infiltration par l'arbre considérée comme le moyen le plus sûr d'améliorer le sol.

Cette expérience montre les limites d'utilisation des stratégies d'équipement quand elles ne prennent pas en considération les intérêts des paysans. D'après (Arabi *et al.*, 2004) Les facteurs essentiels à prendre en considération dans le cadre d'un programme antiérosifs sont :

- L'intégration des communautés paysannes dans les programmes de développement ;
- L'amélioration des systèmes de production ;
- La recherche d'ouvrages dont le rapport coût/efficacité serait optimum ;
- Le choix de technologies proches des paysans et adaptées au milieu écologique ;
- La participation graduelle des paysans au financement ou à leur entretien ;
- La définition des rôles et responsabilités des intervenants par contrats relatifs à l'aménagement des ressources naturelles.

Après quarante années de lutte antiérosive, l'Algérie a lancé un programme de recherche pour évaluer l'efficacité des techniques de défense et restauration des sols (DRS). L'enquête parrainée par deux instituts de recherche, l'Institut national de recherche forestière (INRF, Algérie) et l'Institut de recherche pour le développement (IRD, France) où sont conclus que le coût des aménagements est impressionnant : l'aménagement d'un hectare de banquettes, par exemple, coûtait entre 1 300 à 2 200 euros en 2003. Considérée comme une technique sûre qui a fait ses preuves aux Etats-Unis, la banquette n'a pas fait l'objet de recherche d'adaptation locale mais a souvent été utilisée en dehors de son domaine de validité. Or, les deux tiers des aménagements ont été réalisés sur roche tendre argileuse, des pentes de 3 à 25 % et sur les terres privées. La majorité des paysans rejettent cette technique et refusent d'entretenir les banquettes car elles consomment 5 à 15 % de la surface agricole utile (SAU) sans pour autant améliorer les rendements des cultures (Arabi *et al.*, 2004).

II.4.4. La gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES)

Depuis 1985, l'Institut national algérien pour la recherche forestière (INRF) et l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération (ORSTOM) ont uni les efforts d'une douzaine de chercheurs pour développer un programme de formation et de recherche sur les causes et les facteurs de différents processus d'érosion et pour tester dans les montagnes méditerranéennes semi-arides d'Algérie une nouvelle approche participative de la lutte antiérosive : la gestion conservatoire de l'eau de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) (Roose, 1987) citer par (Roose *et al.*, 1993). D'après lui ce programme comprend trois volets :

- Une enquête sur l'efficacité de l'approche DRS, d'abord par l'INRF et l'administration des Forêts pour situer et décrire les aménagements existants, puis par un groupe interdisciplinaire de chercheurs, pour évaluer leur fonctionnement ;

- L'aménagement de micro-bassins versants (de 20 à 300 ha) près de Médéa, Mascara et Tlemcen ;
- La quantification des différents processus d'érosion dans un réseau de ravines et de parcelles d'érosion

Si on veut que les paysans participent à la protection du milieu rural et de la qualité des eaux, il faut d'abord répondre à leurs préoccupations immédiates. C'est pourquoi la GCES aborde les problèmes d'érosion par une logique « amont ». Comment améliorer la productivité des terres et du travail, en gérant au mieux l'eau disponible, la biomasse et la fertilité des sols ? Par l'intensification de l'utilisation des intrants sur les meilleures terres, on augmente la couverture végétale et on réduit les risques d'érosion (**Roose, 1987**).

Dans les steppes arides localement mise en culture récemment nous assistons depuis quelques années seulement, à la mise en place des seuils et des murettes pour retenir le sol et l'eau. En fait, la mise en culture elle-même des dépressions et fonds de vallées repose sur la gestion des eaux de ruissellements récupérés sur les versants et les glaces et conduites en épandage plus ou moins contrôlé vers les dépressions peut aboutir à la destruction totale des sols et la désertification de ces milieux. Le recours aux techniques de conservation dans les piémonts semi-arides vise justement à atténuer les formes vives d'érosion nouvellement apparues. D'un autre côté dans ces milieux où les précipitations sont faibles et irrégulières, les ouvrages de GCES s'avèrent nécessaires pour emmagasiner suffisamment d'eau pluviale dans le sol pour garantir une certaine production végétale (**Laouina, 2007**).

II.5. Les aménagements appliqués actuellement dans les bassins versant Algériens

Dans le but de remédier au problème de la dégradation des ressources naturelles, l'Algérie a entrepris, depuis son indépendance, de nombreuses actions (**Tab. 2**). Au cours des premières années, seuls les volets de reboisement ont été retenus pour la régénération des terres perdues par les incendies et les exploitations incontrôlées, la protection des bassins versants contre l'érosion hydrique et le développement de toute activité économique forestière.

Tableau 2. Programmes et plans de 1962 à 1990 (Source : O.N.C.L.C.D., 2004)

Intitulé	Période	Type d'actions en rapport avec le reboisement et/ou la lutte contre la désertification
Chantiers populaires de reboisement CPR	1962 - 1967	Reboisement dans les régions à fort taux de chômage
Plan triennal	1967 - 1969	Relance de l'activité forestière
Premier plan quadriennal	1970 - 1973	Reboisement productif et « barrage vert » contre la désertification
Deuxième plan quadriennal	1974 - 1977	Renforcement du plan précédent
Programmes spéciaux	Variables	Activités ciblées de DRS et de reboisement
Premier plan quinquennal	1980 - 1984	Reboisement et aménagements des bassins versants
Deuxième plan quinquennal	1985 - 1989	Reboisement avec une plus grande diversification des espèces
Le barrage vert	1971 - 1990	Reboisement systématique puis aménagement intégré agro-sylvo-pastoral des territoires compris entre les isohyètes 300mm et 200mm
Le plan national de lutte contre la désertification	Dès 1987	Intensification et extension du barrage vert avec une approche agro-sylvo-pastorale
Haut-Commissariat au Développement de la Steppe	1987	Développement intégré de la steppe

En effet de 1962 à 1981 l'action majeure de lutte contre la désertification en Algérie a été le « barrage vert » dans son concept de « barrière d'arbres » contre l'avancée du désert par un reboisement systématique d'Est en Ouest basée principalement sur la monoculture du pin d'Alep dans une zone écologiquement fragile (entre les isohyètes 300 mm et 200 mm). Les résultats furent en deçà de ce qui était attendu du fait du manque d'études préalables aux opérations de reboisement et la non prise en compte des réalités socio-économiques de la région et en particulier de l'homme en tant que facteur important dans la dégradation des sols et des parcours.

Une approche intégrée agro-sylvo-pastorale du « barrage vert », plus judicieuse et qui tient compte de la dimension humaine, est défendue dès 1976 par les spécialistes et la communauté scientifique. Cette approche a influé par la suite, dès 1981, sur la mise au point du plan national de lutte contre la désertification et la définition des objectifs du Haut-Commissariat au Développement de la Steppe. Cette vision intégrative intéressera tous les pays de l'Afrique du Nord.

La prise de conscience sur l'importance de la relation qui lie les questions environnementales au développement s'est concrétisée dès 1974 par la création du Conseil National de l'Environnement qui avait pour tâche de proposer aux plus hautes instances de l'Etat les grandes lignes de la politique environnementale dans le cadre de l'aménagement du territoire et du développement économique. La promulgation le 05 février 1983 de la loi cadre relative à la protection de l'Environnement vient renforcer cette vision intégrative de l'aménagement du territoire.

-La dimension « Développement Durable » dans les stratégies, programmes et plans de développement :

La stratégie nationale du développement durable en Algérie tire son essence du programme du gouvernement, issu du programme présidentiel, et est mise en œuvre par le « plan de soutien de la relance économique 2001-2004 » ainsi que par le plan quadriennal projeté pour la période 2005-2008. Les trois dimensions de développement durable, sociale, économique et environnementale y sont intégrées. Elle consiste à renforcer le dispositif législatif et réglementaire ainsi que les capacités institutionnelles, sensibiliser et éduquer la population par une approche participative, préserver les terres, eaux et la diversité biologique, promouvoir une gestion intégrée des forêts, de la steppe, des espaces oasiens et des périmètres urbains.

D'autres stratégies qui s'inscrivent dans l'approche stratégique globale (la nouvelle politique de l'eau en Algérie, Plan National de l'Eau, Plan National de Développement Agricole PNDA, Programme national de reboisement PNR ...) sont lancées dès 2001 et de nombreux textes de lois (sur la protection du littoral, la gestion, le contrôle et l'élimination des déchets et surtout la loi sur l'aménagement du territoire, le développement durable et la nouvelle politique de l'eau) viennent renforcer les quelques 300 textes déjà existants. La mise en œuvre de ces différentes stratégies est faite par différents programmes et plans.

II.6 Actions et aménagements résultant aux récents programmes nationaux

Le gouvernement Algérien, représenté par le Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche, et en collaboration avec la Direction Générale des Forêts, ont mis en place des nouvelles politiques et stratégies pour lutter contre la dégradation des terres, à savoir :

II.6.1 Aménagement intégré des bassins versants de barrages

Dans le cadre de l'aménagement intégré des bassins versants de barrages dont la superficie d'intervention est estimée à 7,5 millions d'ha dont 5,6 millions d'ha en amont de retenues d'eau. Dans la poursuite du programme 2010-2014, le quinquennal 2015-2019 se propose d'intensifier les interventions visant à préserver les 48 bassins des ouvrages hydrauliques notamment ceux situés dans les zones marquées par une forte érosion.

Le traitement de ces bassins versants sera réalisé d'ici 2030 soit 1,5 millions d'hectares dont la superficie nécessitant des traitements est estimée à 1,5 million d'ha, soit 20 % de la superficie totale des bassins versants étudiés qui est de 7,5 millions d'ha. La superficie des zones de priorité correspond aux zones responsables d'une proportion importante de la production de sédiments (court terme) s'élève à 666 000 ha, soit 6,1 % de la superficie totale des bassins versant et 44 % des superficies à traiter. Le programme, localisé au niveau de 352 communes relevant de 30 Wilayas, se répartit par

type d'ouvrage comme suit : 19 ouvrages en exploitation ; 08 ouvrages en construction et 21 ouvrages en étude (M.A.D.R.P., 2015).

➤ **Objectif global du programme**

Le programme d'aménagement intégré des bassins versant en amont des retenues d'eau contribuera à la conservation des sols et des eaux et l'amélioration du niveau de vie des populations.

➤ **Objectifs spécifiques :** Les objectifs spécifiques du programme sont :

- La réduction du transport de sédiment ;
- La réduction de la superficie touchée par l'érosion hydrique ;
- La diversification des moyens d'existence et l'amélioration des conditions de vie des populations.

➤ **Impacts attendus :** Les impacts attendus du programme de traitement des bassins versants sont les suivants :

- L'accès à l'eau potable amélioré et les superficies agricoles irriguées augmentés grâce au gain de stockage d'eau ;
- Les infrastructures en aval préservés et le dévasement évité ;
- L'érosion en nappe réduite et la productivité des terres agricoles améliorée ;
- L'érosion due au ravinement diminué et les sols dégradés réhabilités ;
- Les conditions de vie des populations améliorées.

II.6.2 Plan National de Reboisement

Programme validé en conseil interministériel et lancé en 2000, porte sur un objectif global de 1 245 900 ha réparti comme suit :

- Reboisement industriel : 75 000 ha ;
- Reboisement de production : 250 000 ha ;
- - Reboisement d'agrément et récréatif 25.640 ha ;
- Reboisement de protection, plantations fruitières et pastorales 895 260 ha dont :
 - Protection et mise en valeur des périmètres de bassins versants en zones de Montagne : 562 000 ha,
 - Lutte contre la désertification au niveau des zones steppiques et saharienne 333 260 ha.

L'état d'exécution de ce programme a atteint plus de 770 000 ha réalisés avec une densité moyenne de 800 à 1000 plants à l'hectare. Les restes à réaliser estimés à 475 000 ha correspondent à l'objectif à réaliser d'ici l'an 2025 (M.A.D.R.P., 2015).

II.6.3 Economie de l'eau et sécurité alimentaire

Dans le cadre du programme de l'économie de l'eau l'objectif du présent quinquennal est de passer à plus de 2 millions d'ha de terres irriguées. Les dispositions nécessaires pour l'atteinte de l'

objectif, visant à disposer d'une sole irriguée de 2 millions d'hectares à la fin 2020-2025, notamment à la faveur de l'entrée en service des nouveaux périmètres de mise en valeur par la concession inscrite à l'indicatif des différentes wilayas ainsi que des grands périmètres irrigués qui seront créés avec l'entrée en service de nouveaux barrages. La superficie des terres agricoles irriguées va s'élargir à Un million d'hectares viendra s'ajouter au 1,2 million déjà existant. Ce programme, qui sera pris en charge par le ministère des Ressources en eau et son homologue de l'Agriculture, vise à renforcer la production agricole pour assurer la sécurité alimentaire (M.A.D.R.P., 2015).

II.6.4 Gestion et protection des parcours

L'objectif 2030 de réhabilitation des parcours au niveau de la zone steppique et présaharienne et à travers la mise en défens et l'amélioration pastorale est estimé à 2 millions d'hectares. Compte tenu de l'état de dégradation des parcours et de la forte pression humaine et animale qui s'exerce sur ces écosystèmes naturels, la reconstitution du couvert végétal est difficile à être assurée dans la plupart des cas par les mécanismes naturels de régénération et nécessite le recours à des techniques d'aménagement et de gestion des terres (M.A.D.R.P., 2015). Ces techniques se basent sur :

- L'utilisation judicieuse des eaux de pluie ;
- La plantation d'espèces adaptées à ces régions, contribuant aussi bien à l'accroissement de la production qu'à la protection des sols contre l'érosion ;
- Fixation de dunes ;
- Les mises en défens ;
- La création de points d'eau.

Néanmoins, les programmes à entreprendre seront inscrits dans un cadre plus large (région) pour des besoins de planification, essentiels à une meilleure rationalisation des investissements en concertation avec les agro-éleveurs.

Les effets attendus sont de faire de la steppe et du présaharien un espace émergent (espace économique) en rapport avec l'atout ovin, et une zone de protection (espace écologique) contre les risques de désertification des plaines des Hauts Plateaux.

- Les parcours sont mieux gérés et protégés ;
- Les faciès d'origine se restaurent peu à peu ;
- Les sols sont mieux conservés ;
- Le cheptel bénéficie d'un apport fourrager satisfaisant et de manière rationnelle ;
- La mobilisation hydrique répond aux besoins de la population ;
- L'accès à l'énergie renouvelable est facilité ;
- La population est sensibilisée.

II.7 Les techniques de correction torrentielles : objectifs, principe, mesures techniques et champ d'application

II.7.1 Définition de la correction torrentielle

Cette technique est particulièrement adaptée aux torrents. Elle repose sur les profils longitudinaux de cours d'eau qui présentent de fortes ruptures de pente qui témoignent de leur évolution géomorphologique. Le but est de rétablir artificiellement un équilibre de la pente sur la section du torrent au moyen de seuils qui permettent d'une part de briser la vitesse d'écoulement et de devenir moins agressifs et d'autre part de permettre le dépôt de particules derrière les seuils ; conformément aux caractéristiques du torrent, ces seuils doivent être calculés à partir du point le plus bas ou le plus haut (**Fig. 13**).

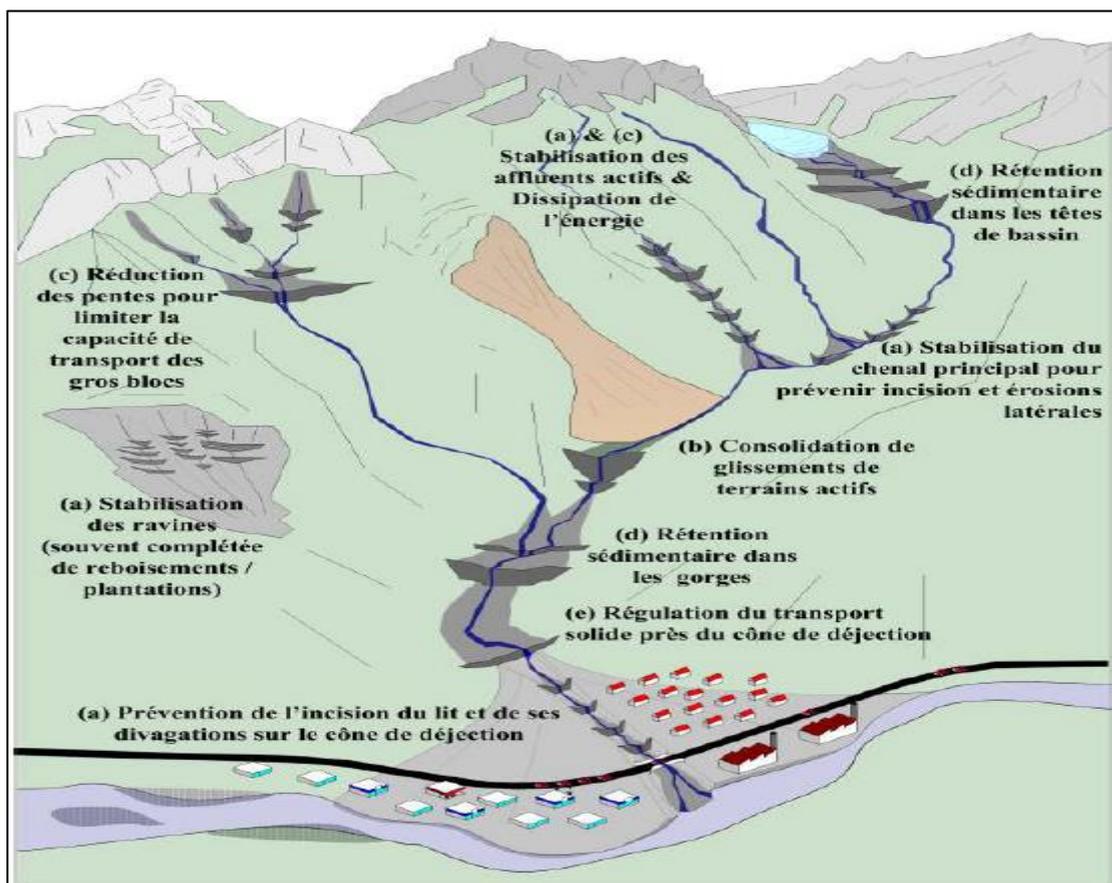


Figure 13. Exemples de localisations typiques de protections torrentielles

dans un bassin versant et fonctions principales associées (Source : **Piton et al., 2019**).

Ces ouvrages sont construits en bois, en gabions, en pierres sèches, en terre en maçonnerie et/ou en béton armé, placés le long des torrents et des ravines des bassins versants. Ces ouvrages sont remplis de sédiments, mais surtout d'eau captée derrière les seuils qui doit être valorisée par la production de fourrage vert en saison sèche et d'arbustes qui peuvent motiver les agriculteurs à bien gérer leurs terres et les ravines. Il s'agit d'une transition nécessaire pour passer d'un stade où l'État

s'occupe de tout à un stade où il encourage l'initiative paysanne, qui est essentielle pour le maintien de l'environnement rural.

On distingue deux types de corrections torrentielles à savoir une correction mécanique et une correction biologique.

II.7.2 Correction mécanique

Le fonctionnement des ravines est lié aux différents processus d'érosion qui varient fortement dans les différents paysages du pays : il dépend de l'énergie des pluies et de leur répartition durant l'année, du type de pente (inclinaison, longueur et forme), de la résistance du sol aux gouttes et au ruissellement, de la stabilité structurale et de la cohésion du sol.

Afin de réduire le transport de matières solides provenant de la divagation des oueds, du ravinement et des glissements de terrain, plusieurs stratégies ont été développées qui permettent de ralentir le ruissellement et le dépôt des sédiments entraînés.

A. Objectifs

- ❖ **Stabilisation du lit** : La stabilisation du lit des torrents est la fonction des ouvrages de correction torrentielle la plus répandue. Elle vise à prévenir les incisions longitudinales et/ou les érosions latérales (**Piton et al., 2019**). Cette stabilisation du lit favorise la reprise spontanée ou artificielle de la végétation.
- ❖ **Consolidation des versants** : De nombreux torrents trouvent la source de leur fourniture sédimentaire au niveau de quelques instabilités de versants localisées, mais majeures telles que les glissements de terrains. Remplir à nouveau le fond du lit pour élever significativement son niveau et former ainsi une butée au pied de l'instabilité est souvent une mesure permettant de ralentir l'activité du mouvement de terrain (**Kuss, 1900**) citer par (**Piton et al., 2019**).
- ❖ **Réduction des pentes** : Le lit de la plupart des torrents est partiellement constitué ou pavé de gros blocs issus des versants et rarement mobilisés par les écoulements, Il faut que la réduction de pente soit censée s'accroître avec l'avancement de la correction du torrent et la reprise de la végétation : les apports sédimentaires étant voués à diminuer, la pente d'équilibre dynamique aussi.
- ❖ **Rétention permanente** : Le comblement des biefs situés en amont des barrages piège durablement les sédiments transportés. Cette fonction est généralement secondaire pour tous les ouvrages dont la cuvette est bâtie au-dessus du niveau initial du lit. Une fois que l'ouvrage était complètement atterri, de nouveaux barrages ont pu être bâtis à son amont immédiat pour prolonger le comblement du thalweg vers l'amont.
- ❖ **Régulation du transport solide** : La création de points fixes dans le profil en long d'un torrent rend le bief amont au barrage indépendant des fluctuations de niveau du bief aval : les érosions

régressives ne peuvent alors plus se propager. Ces compartiments indépendants stockent et libèrent des matériaux, créant des zones tampons entre les ouvrages. Ces biefs s'engraissent plus particulièrement pendant les crues chargées de sédiments et libèrent des matériaux pendant les crues d'eaux claires qui suivent. Les barrages modifient ainsi la dynamique des respirations torrentielles qui sont naturellement liées à des échanges permanents entre écoulement et lit (**Recking, 2014**).

B. Principe

Le problème posé est celui de la correction torrentielle, des types de seuils mis en place, de leur coût et de leur efficacité pour le stockage des sédiments, mais surtout pour relever le fond du ravin et rétablir l'équilibre des pentes afin de permettre l'établissement d'une végétation naturelle et d'éteindre les sites d'érosion.

Pour construire un seuil, on a recours à différents types de matériaux. La nature des travaux et les matériaux utilisés varient d'une région à l'autre, selon la disponibilité de la matière première. Il faut prendre en compte leur dimensionnement, leur emplacement et leur espacement, l'importance du transport de solides ainsi que la pente initiale. Il conviendra de prendre en considération l'intervention de l'amont vers l'aval de façon à ce qu'en tête du bassin versant les zones drainées soient réduites, les débits transportés soient inférieurs à ceux rencontrés à la sortie en aval.

C. Mesures techniques et champ d'application

- **Emplacement** : L'emplacement du seuil par rapport au seuil amont. La formule appliquée pour la détermination de l'espacement entre les seuils de la correction torrentielle en Algérie est celle donnée par **Greco (1966)** ; La formule de l'écartement est la suivante : $E = L/N$ avec E : Espacement, L : Longueur du Ravin, N : nombre de seuil.
- **Détermination de nombres de seuils** : le nombre de seuils est calculé d'après la formule suivante : $N = (P - I) / H$ N: nombre de seuil, P : pente moyenne du lit, I : pente de compensation déterminée expérimentalement et H : Hauteur moyenne des barrages.
- **Dimensionnement technique** : Le dimensionnement des ouvrages implique des surcoûts et allonge la survie de l'ouvrage et le sous dimensionnement de l'ouvrage à des conséquences soit sur la destruction ou sur la submersion des ouvrages, ainsi que sur les pertes des charges.
- **Fondation et encrage latéral** : Une bonne fondation et un bon ancrage aux berges du seuil conditionnent sa stabilité et sa résistance.
- **Le déversoir** : est la partie du barrage ou l'ouvrage où s'écoulera l'eau du talweg. Il existe différentes formes de déversoir (forme longitudinale, rectangulaire, trapézoïdale ou curviligne).
- **Entretien des aménagements** : l'entretien augmente la durée de vie de l'ouvrage. L'absence d'un entretien permanent des aménagements réduit la réalisation des objectifs de lutte contre l'envasement.

- **Stabilité** : un ouvrage est stable lorsqu'il tend à conserver sa position initiale et équilibre stable sans déformation ou mouvement pendant une période assez longue (dans notre cas plus de 10 ans). Cette stabilité est liée à une bonne assise de fondation, un ancrage latéral suffisant et un bon choix de matériaux de construction.
- **Adaptabilité** : c'est une notion introduite récemment en correction torrentielle qui consiste à caractériser la capacité des ouvrages de correction torrentielle à s'adapter aux conditions du milieu naturel tout en jouant son rôle (**Mazour et al., 2008**).
- **Efficacité** : Pour être efficace, un ouvrage de correction doit jouer son rôle correctement et répondre aux objectifs auxquels il a été réalisé, notamment La réduction des ravinements ; le stockage des sédiments et la compensation de la pente.
- **La durée de l'ouvrage** : en fonction de la date de réalisation des ouvrages, la durée de vie utile d'un barrage se situe entre le moment de sa construction et le moment où la sédimentation est tellement avancée où le barrage ne sert plus les objectifs prévus.
- **Matériaux de construction des seuils** : sont liées à la qualité, à la forme aux dimensions de la pierre. Pour la pierre qui se décompose rapidement (calcaire, grès) sous l'effet de l'eau et l'air, l'ouvrage à une durée de vie très courte. La pierre de petite dimension peut être déplacée sous l'effet de l'eau (débit abondant) et l'ouvrage se détruit rapidement.

II.7.3 Types des aménagements mécaniques

A. Seuils en gabions

Les gabions sont des caisses en treillis métallique expédiées pliées et dépliées pour être utilisées sur le terrain. Ces structures modulaires sont composées d'éléments de grillage métallique bipède à double torsion hexagonale. Les mailles en acier ont une grande résistance mécanique ; leur tissage à double torsion empêche le desémaillage. Sa résistance aux agents environnementaux est assurée par la galvanisation. Sur place, les gabions sont assemblés et reliés entre eux par un fil de liaison ayant les mêmes caractéristiques que celles du treillis métallique. Les ligatures sont très simples à réaliser mais il est absolument nécessaire qu'elles soient régulières et bien entretenues (**Fig. 14**). Les gabions sont destinés à freiner la vitesse d'écoulement des eaux de crues et permettent ainsi de recharger la nappe souterraine irriguer les terrasses avoisinantes par épandage d'une partie des eaux de ruissellement réduire le pouvoir érosif des eaux et les risques d'inondation dans les zones en aval (**Boufaroua et al., 1998**).

- **Domaine d'application :**

- ❖ Ouvrages de soutènement dans tous milieux et sur toutes conditions climatiques ;
- ❖ Parfaitement recommandés pour les terres argileuses ou marneuses de part leur souplesse aux affouillements et aux mouvements du sol ;

- ❖ Fixation de ravins d'ordre 1, berges d'oued, talus de routes ou de versants exposés aux éboulements.

B. Seuils en pierres sèches

Le seuil en pierre est une structure construite en utilisant de la pierre non cimentée mais ancrée sur les berges pour augmenter sa cohésion et sa rigidité. Ces pierres doivent être soigneusement disposées pour que l'ouvrage soit stable (**Fig. 14**).

L'utilisation de la pierre sèche permet d'avoir un ouvrage filtrant, laissant passer à travers les murs, une partie des eaux de ruissellement. L'eau excédentaire est évacuée par un déversoir situé dans la partie centrale de l'ouvrage (0,30 à 0,50 m de profondeur et 1 à 1,50 m de largeur). 1,20 m de large en moyenne pour un seuil de 4 m de large). Les pierres en tant que matériaux de construction des seuils sont parfaitement adoptées, d'autant plus qu'elles existent localement.

- Champ d'application

Les seuils en pierre sèche sont bien adaptés aux petits ravins ayant une pente faible à moyenne et un substrat moyennement tendre à dur. La construction de ce type de seuil nécessite une main-d'œuvre qualifiée, contrairement à ce que l'on pense généralement. Cette dernière pourrait éventuellement être formée pour mener à bien ce type de travaux, Pour assurer une large diffusion de la technique auprès de certaines personnes qui ont déjà réalisé des travaux de construction dans la région.

C. Seuil en maçonnerie (en béton)

Un seuil en maçonnerie est un barrage construit avec de la pierre cimentée ou du béton. Ces ouvrages sont réalisés au travers du lit d'un torrent ou d'un gros ravin pour empêcher le lit de se creuser en remettant ainsi en cause la stabilité des berges et des versants. Il s'agit là de travaux de génie civil auxquels on fait appel pour renforcer, sur le même ravin, une série de seuils moyens (en PS et en gabions) construits à l'amont ou bien lorsque le torrent ou le ravin est assez important et que les matériaux charriés n'ont aucune chance d'être arrêtés par les ouvrages simples. Le lit du torrent peut être transformé dans ce cas en un grand escalier dans lequel se succèdent plusieurs seuils en escalier. - **Domaine d'application**

- ❖ Torrents ou ravins importants de part le volume des matériaux charriés ; les ouvrages simples ne pouvant assurer la protection nécessaire ;
- ❖ Renforcement, sur le même ravin, d'une série de seuils moyens (en pierres sèches et en gabions) construits à l'amont.

D. Seuils en terre

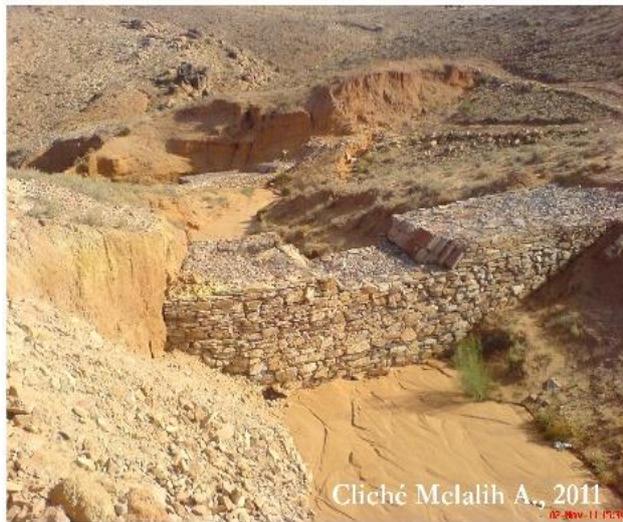
Ce sont des seuils aménagés sur un très large talweg, ils sont construits avec des matériaux terreux notamment (sable et argile). Il s'agit d'un élargissement artificiel du lit destiné de créer une

zone de stockage susceptible à recevoir des laves torrentielles occasionnées par des ravines ou des glissements de berges exceptionnels. La réalisation de ces travaux exige de larges talwegs dont la pente moyenne, spécialement au point d'exécution des travaux, ne peut dépasser 20% que dans des cas exceptionnels, et ce pour les raisons suivantes économique car plus la pente est raide, plus il est difficile de réaliser les travaux (augmentation du volume et des coûts).

II.7.4 Correction biologique

La végétation peut intervenir contre l'érosion hydrique de surface de deux manières principales : d'une part, elle peut empêcher l'ablation du substrat (La végétation protège les sols de l'ablation par réduction de l'énergie des agents érosifs et maintien des sols), d'autre part, elle peut favoriser la sédimentation, en retenant les sédiments érodés plus à l'amont ; La végétation peut exercer un effet favorable sur la sédimentation des particules, grâce à des processus de piégeage et de rétention d'une partie des sédiments érodés à l'intérieur d'un bassin versant.

La végétation permet également de maintenir la cohésion du sol grâce aux systèmes racinaires autour d'une structure mécanique, ce qui consolide l'ancrage de cette dernière et par conséquent sa durée de vie et donc son efficacité.



Correction mécanique: Seuils en gabions



Correction mécanique : Seuils en pierres sèches



Correction biologique : Fixation de berges de l'Oued contre le sapement

Figure 14. Techniques de correction torrentielle (mécanique et biologique)

II.7.5 Ouvrage hydraulique

L'Algérie étant un pays riche en ressources en eau, sa politique a été accordé une grande importance au secteur hydraulique afin de mobiliser et de mieux valoriser ces ressources naturelles. Ainsi, la réalisation des retenues collinaires permettra de contribuer à l'amélioration et au développement économique de la région, en améliorant le cadre de vie de la population locale.

Les retenues collinaires sont des ouvrages de stockage des eaux, qui sont principalement alimentés par les eaux de surface et de ruissellement. Le barrage, constitué d'une digue en terre ou autres matériaux, permet de retenir l'eau dans un thalweg et de stocker une partie du débit d'eau et un déversoir qui dérive les eaux en excès. Ces eaux sont principalement utilisées pour l'irrigation des cultures et l'abreuvement de cheptel. Ils peuvent être utilisés pour des usages secondaires, la protection contre les incendies, les loisirs, la pisciculture et l'eau potable (**Fig. 15**).



Ouvrages hydrauliques : Retenue collinaire

Figure 15. Ouvrages hydrauliques de gestion des eaux de ruissellement (retenue collinaire)

Conclusion

Les régions steppiques de l'Algérie sont soumises aux fortes actions de l'homme et du bétail qui ont contribué à une sévère dégradation des sols et de la couverture végétale. Sous l'effet de divers processus naturels liés à la déflation éolienne, à l'érosion hydrique et à la salinisation et autres anthropiques : le défrichement, la pratique d'une céréaliculture aléatoire, le surpâturage et les pratiques agricoles souvent inadaptées sont autant de facteurs liés à l'homme qui ont accentué les phénomènes de dégradation.

Pour affronter ce problème, et afin de maintenir l'équilibre environnemental dans les bassins versants en question, le monde paysan s'efforce de lever les contraintes qui entravent son développement durable. Pour y parvenir, de nombreuses techniques de conservation de l'eau et des sols sont mises en œuvre, qui correspondent à toutes les pratiques mécaniques, biologiques, culturelles et agronomiques, ainsi que des dispositifs recommandés par les populations locales ou par l'État pour optimiser la gestion des ressources naturelles.

Ces aménagements ont prouvé leur efficacité pour la conservation et la gestion des eaux, mais elles exigent un entretien continu. Elles ont été fortement endommagées ces dernières années suite à des événements pluviométriques intenses et au manque d'entretien. En plus une lutte mécanique est indispensable et efficace temporairement mais elle exige une fixation biologique rapide des atterrissements, des versants et de l'amont des ravines. Sans oublier le rôle des retenues collinaires pour la gestion et la mobilisation des eaux de ruissellement.

Il est indispensable de faire participer la population locale et de la sensibiliser à l'importance d'appliquer ce type de techniques de protection, tout en lui fournissant les éléments nécessaires pour préserver durablement l'environnement et assurer un équilibre entre les bénéfices agropastoraux et les potentialités des ressources naturelles en eau et en sols.



PARTIE II

Présentation du milieu
d'étude avec ses
caractéristiques
bioclimatiques



CHAPITRE I

Présentation du milieu physique
de la région d'étude

Chapitre I Présentation du milieu physique de la région d'étude

Introduction

Les steppes algériennes, situées entre les isohyètes 100 à 400 mm, couvrent plus de 20 millions d'hectares d'une végétation basse et rabougrie, soumise à une exploitation humaine très accentuée. La vocation des steppes est principalement l'élevage extensif d'ovins, complété par une céréaliculture aléatoire. De nos jours, le constat majeur est celui d'une diminution de la superficie de ces steppes due à une dégradation parfois extrême. Le tout est aggravé par des sécheresses périodiques plus ou moins sévères et prolongées (Nedjimi et Guit, 2012).

La dégradation des milieux naturels dans les zones arides et semi - arides s'est dramatiquement amplifiée au cours de ces dernières décennies en raison de l'accélération de la croissance démographique, des mutations socio-économiques et des transformations concomitantes des systèmes d'exploitation des ressources naturelles. L'extension des surfaces cultivées dans les zones steppiques, l'accroissement du cheptel et les modes de gestion et d'exploitation inappropriés ont entraîné différents processus de dégradation : défrichement et prélèvement du couvert végétal, surpâturage, érosion des sols et détérioration de leur fertilité (Nedjimi et Guit, 2012).

Pour comprendre les phénomènes relatifs aux différents aspects du milieu physique et de ses composantes, il est indispensable de connaître les données du milieu physique à travers ses différentes formes.

En effet, les analyses environnementales du milieu doivent nous permettre de déterminer et caractériser leur potentiel et ses contraintes physiques, de même que de connaître leurs interactions et leur diversité géographique. Cela nous permettra également d'évaluer le niveau d'utilisation actuel des ressources naturelles et les potentialités liées à l'environnement physique.

I.1. Localisation géographiques et limite de la zone d'étude

La wilaya de Naâma est issue de l'avant dernière division administrative instituée par la loi 84-09 du 04 avril 1984. Elle est composée de sept (07) daïras regroupant douze (12) communes, dont notre zone d'étude, la commune de Ain Sefra. Cette dernière est située entre l'Atlas Tellien et l'Atlas Saharien et couvre une superficie de 29.819,30 Km² pour une population estimée à 253.934 habitants au 31/12/2014, soit une densité de 8,52 habitants/Km² (D.P.S.B., 2016).

Ain Sefra est située à 70 km au sud-ouest de la ville de Naâma, à 32° 45' 21" de latitude Nord et 0° 35' 9" de longitude Ouest de Greenwich. Elle s'étend sur une superficie de 1004,94 Km² pour une population estimée à 66 045 habitants, soit une densité de 65,72 ha/Km², limitée

au Nord par la commune de Naâma, à l'Est par celle de Tiout, à l'Ouest par la commune de Sfisifa et au Sud par Moughrar et Djenien Bourezg (**D.P.S.B., 2016**).

La ville de Ain Sefra est située à 1075 mètres au-dessus du niveau de la mer et se trouve entre deux montagnes, le Djebel Mekther au Sud et le Djebel Aïssa au Nord. Elle fait partie des monts des Ksours et des piémonts de l'Atlas saharien, traversée par les Oueds Tirkounte et Braidj considérés comme le principal affluent de l'Oued Ain Sefra. Elle se caractérise par la prédominance de l'activité pastorale et de l'agriculture de type oasien.

I.2 Situation géographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

Le bassin de l'Oued Ain Sefra couvre une superficie de 1903,5 km², qui est située au Sud-Ouest du territoire algérien dans une zone présaharienne précisément les Monts des Ksour. Il est limité entre 0°26' 59" et 1° 3' 51" de longitude Ouest et entre 32° 28'13" et 33° 1'45" de latitude Nord.

Le bassin versant fait partie de la région des hauts plateaux du Nord-Ouest de l'Algérie, caractérisés par des conditions topographiques diverses. L'altitude varie de 1036 à 2242 m au-dessus du niveau de la mer. Les principales formations géométriques rencontrées dans les monts des Ksour constituent un massif relativement élevé, avec des sommets dépassant 2000m comme dans le Djebel Aïssa, 2236m, le Mir Djebel, 2145m et le Djebel Mekter, 2029m (**Fig. 16**).

La zone atlasique, dont le relief est plus marqué par le changement brusque du climat, favorise ainsi les phénomènes du processus de formation des précipitations sous un climat tributaire du Sahara. Le régime d'écoulement, soumis au caractère très irrégulier, subit directement l'influence continentale, traduisant un ruissellement rapide et violent de type orageux. Ainsi cette zone des hauts plateaux atlasiques, favorise ainsi les phénomènes du processus d'endoréisme sous un climat parfois extrêmement aride.

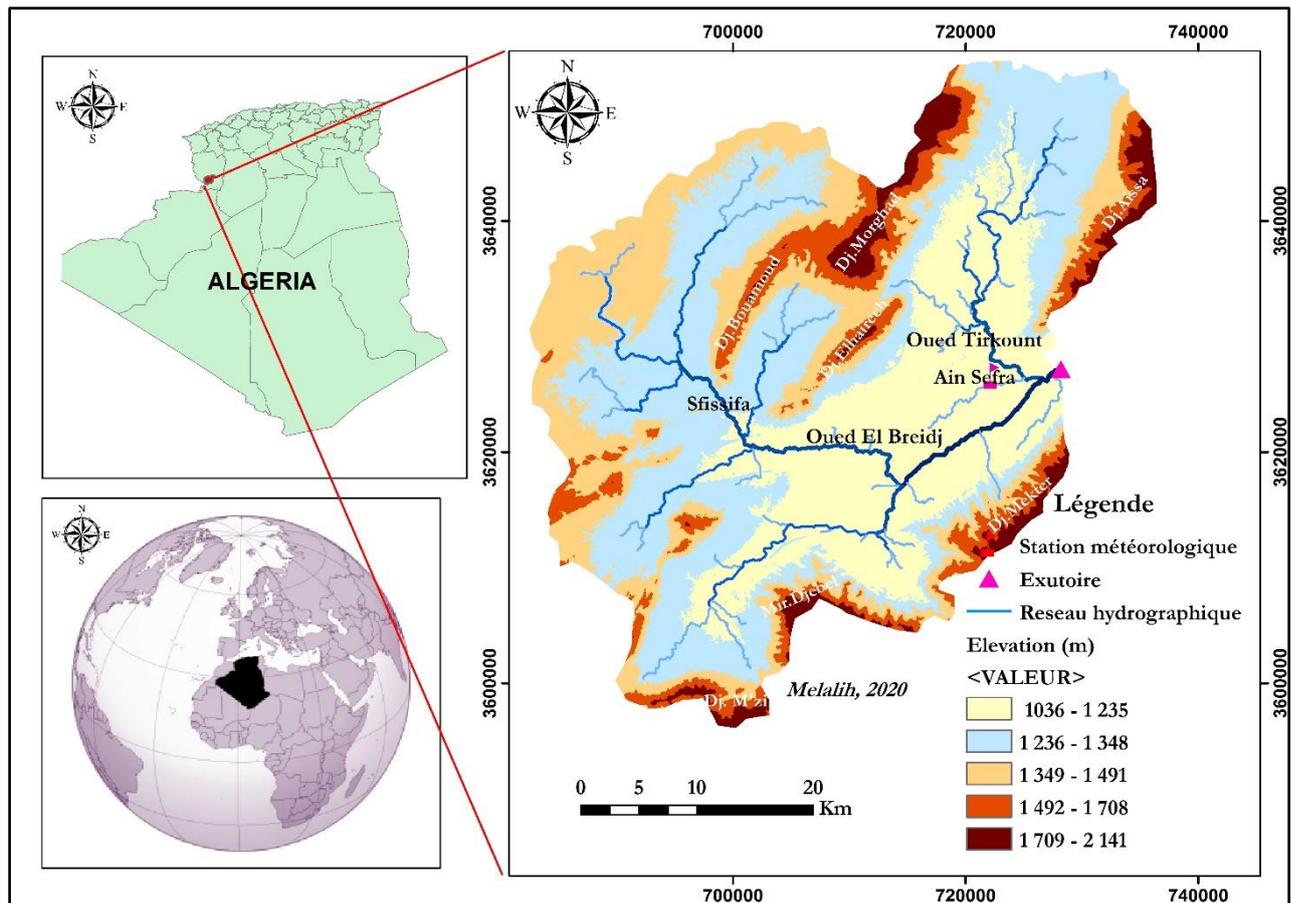


Figure 16. Localisation géographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra est constitué par deux Oueds Tirkount et El Breidj qui sont situés au Sud-Ouest du territoire Algérien, à l'Ouest de la ville d'Ain Sefra (**Fig. 16**). Les deux Oueds qui traversent la ville d'Ain Sefra, se rejoignent pour former en plein centre le tissu urbain l'Oued Ain Sefra, puis plus en aval l'Oued El Ghouiba, formant la partie amont du grand bassin versant saharien de l'Oued Namous, qui décharge ses eaux dans le Grand Erg Occidental (**Melalih, 2012**).

I.3 Cadre géologique

L'Atlas Saharien occidental est une chaîne plissée orientée Sud-ouest Nord-est. Cette chaîne est formée d'anciens anticlinaux ou synclinaux de structure simple, n'ayant subi que la phase de plissement de l'Eocène, puis le soulèvement du Pliocène supérieur (**Bensaid, 2006**).

La série stratigraphique du bassin versant d'Ain Sefra s'étale du Trias au Quaternaire récent avec une prédominance de formations appartenant aux formations Mésozoïques. Le bassin est enclavé entre les anticlinaux Jurassiques de Morghad, Aïssa, et Bouamoud au Nord et de Mekther, Mir.Djebel et M'zi au Sud qui encadrent les synclinaux des grès créacés d'Ain Sefra, Tirkount-Mekalis, Hendjir, Mekhizen et Sidi Maamar (**Derdour et al., 2017**).

Selon **Bensaid (2006)**, Les formations sédimentaires sont constituées par le Mésozoïque et se présentent comme suit (**Fig. 17**):

- Le Trias représenté par des argiles gypso-salines contenant des basaltes. Cette formation est très rare et elle apparaît seulement au niveau de Sekhouna, Djebel Melah et Djebel Bou LerFad;
- Le Jurassique inférieur est formé de calcaires dolomitiques et de dolomies du Lias en alternance avec des marnes et des calcaires marneux du Dogger. On rencontre cette formation au niveau de la majorité des Djebels de l'Atlas Saharien. La partie Ouest des Monts des Ksour est dominée par le Jurassique moyen et supérieur à faciès gréseux et argileux (dépôts détritiques);
- Le Crétacé prédomine dans la partie Est de l'Atlas Saharien dont le centre de notre bassin d'étude marqué par cette formation. L'Albien présente un faciès d'alternance entre les grès siliceux jaunâtres et les argiles versicolores. Le Cénomaniens est constitué par de dépôts marins à faciès marneux et argilo-gypseux. Quant au Turonien il est formé de calcaires dolomitiques avec peu de marnes intercalaires ;
- Le Tertiaire continental est caractérisé par des formations détritiques récentes qui occupent les dépressions de l'Atlas Saharien.

Et sur le plan tectonique, le domaine des Monts des Ksour fait partie de la chaîne atlasique qui a subi des mouvements de l'orogénèse alpine.

La tectonique des Monts des Ksour a mis en évidence deux types de déformations :

- Une déformation souple qui se manifeste par la présence de plis à structure souvent complexe d'orientation N 50° -55° E et N 80° -85° E.
- Une déformation cassante affectant ces plis et se traduisant des fractures sur les formations compactes (dolomies – calcaires) d'orientation N 30° -40° E : N 50°- 60° E : N 80° - 85° E.

Les monts de l'Atlas Saharien « les monts des Ksour sont orientés Sud-Ouest, Nord-Est, sont limités au Nord par les hauts plateaux et au Sud par le Sahara, de point de vue tectonique ces monts des Ksour sont affectés par une très forte fracturation à l'Est de l'accident Nord atlasique et des plis de couverture » (**C.F., 2015**).

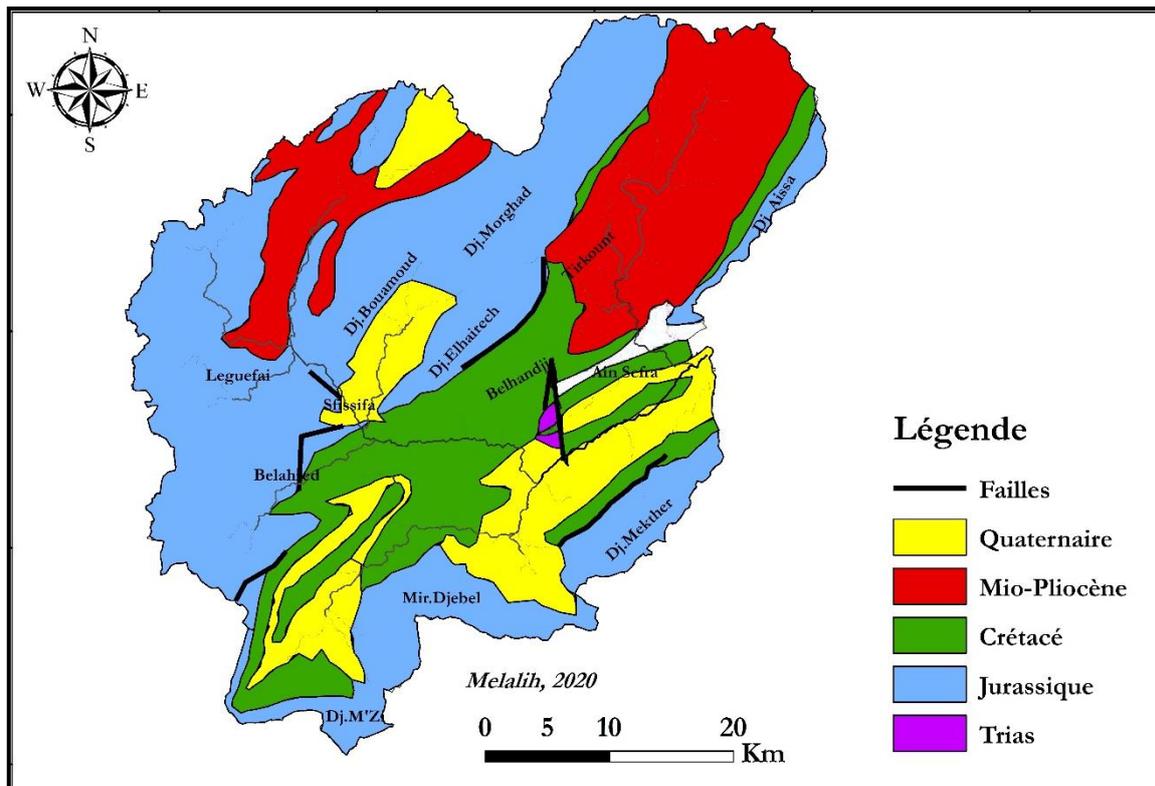


Figure 17. Carte géologique du bassin versant l'Oued Ain Sefra ; extrait de la carte géologique d'Algérie (2ème édition. Echelle :1/500 000e éditée par **Cornet A. et al., 1952**) modifiée.

I.4 Cadre pédologique

Le sol est un milieu cohérent dont les propriétés se développent par son histoire, les conditions de son environnement et souvent aussi par l'action humaine. Les principaux types de sols peuvent être définis en fonction des unités géologiques et géomorphologiques précédemment mentionnées :

- Au niveau des massifs montagneux se rencontrent, selon la roche-mère, deux grandes catégories de sols : d'une part, sur substrat dur (calcaire, grés), des lithosols et rendzines ; d'autre part, sur substrat tendre (marne, marno-calcaire), des régosols et des sols bruns calcaires.
- Sur les glacis à encroûtement calcaréo-gypseux se développent des sols à texture limono-sableuse, peu évolués (**Kaabeche, 2003**).

Selon **Bensaid (2006)**, La classe de sol calcimagnétique occupe la majeure partie de la zone d'étude (la wilaya de Naâma), elle est représentée par plusieurs types de sol : les rendzinas, les sols bruns calcaires et les sols bruns calcaires avec des croûtes de gypse. Ces sols occupent le glacis du Quaternaire ancien et moyen.

Sur le plan pédologique, le bassin versant de l'Oued Ain Sefra se caractérise par ses conditions physiques, à savoir un climat aride et dont les constitutions lithologiques sont très fragiles et sujettes à l'érosion hydrique et éolienne très agressive à cause de la faible protection du sol par la végétation.

Ces sols sont généralement squelettiques, adaptés à un régime climatique aride, peu évolués, pauvres en matière organique et parfois moins profonds ou inexistantes. Ils sont composés principalement par des formations gypseuses, qui reposent le plus souvent sur une croûte de calcaire ou de grès. Les bons sols sont destinés à une céréaliculture aléatoire et se localisent dans les dépressions, les lits d'oued, les dayas et les piémonts de montagne du fait que leur endroit permet une accumulation d'éléments fins et d'eau (**Nedjimi et Guit, 2012**).

Nous nous sommes basés sur la carte des sols d'Afrique 1/5 000 000e, feuille 6 (**D'hoore et Dutil, 1963**), afin de distinguer d'une façon générale les principales unités édaphiques qui composent notre zone d'étude. Les principales classes des sols (**Fig. 18**), sont :

- ***Sols minéraux bruts***

Les sols minéraux bruts proviennent de sols minéraux bruts d'érosion ; de sols minéraux bruts alluviaux et de sols minéraux bruts d'apport éolien. se sont des sols squelettiques avec une couche arables très mince.

- ***Sols calcimagnésiques***

La classe de sols calcimagnésiques occupe la majeure partie de la zone d'étude. Elle est représentée par plusieurs types de sols : les rendzines, sols bruns calcaires et sols bruns calciques, sols à encroûtement gypseux (**Bensaid, 2006**). Ce sont des sols plus profonds à dalle, croûte ou encroûtement calcaire sur les glacis encroûtés du Quaternaire ancien et moyen dans les dayas et les chenaux d'oueds (**Regagba, 2012**).

- ***Sols halomorphes***

Ils sont localisés principalement dans les zones de dépressions (Chott et Sebkha) et dans les aires d'épandage de principaux oueds. Bien que leur couvert végétal soit plus ou moins homogène, leur degré de salinité et leur teneur en humidité déterminent également leur répartition. Il se compose d'halophytes, principalement le tamarix articulata, l'Attriplex Halimus, le Suaeda fruticosa et le Salsola Vermiculata.

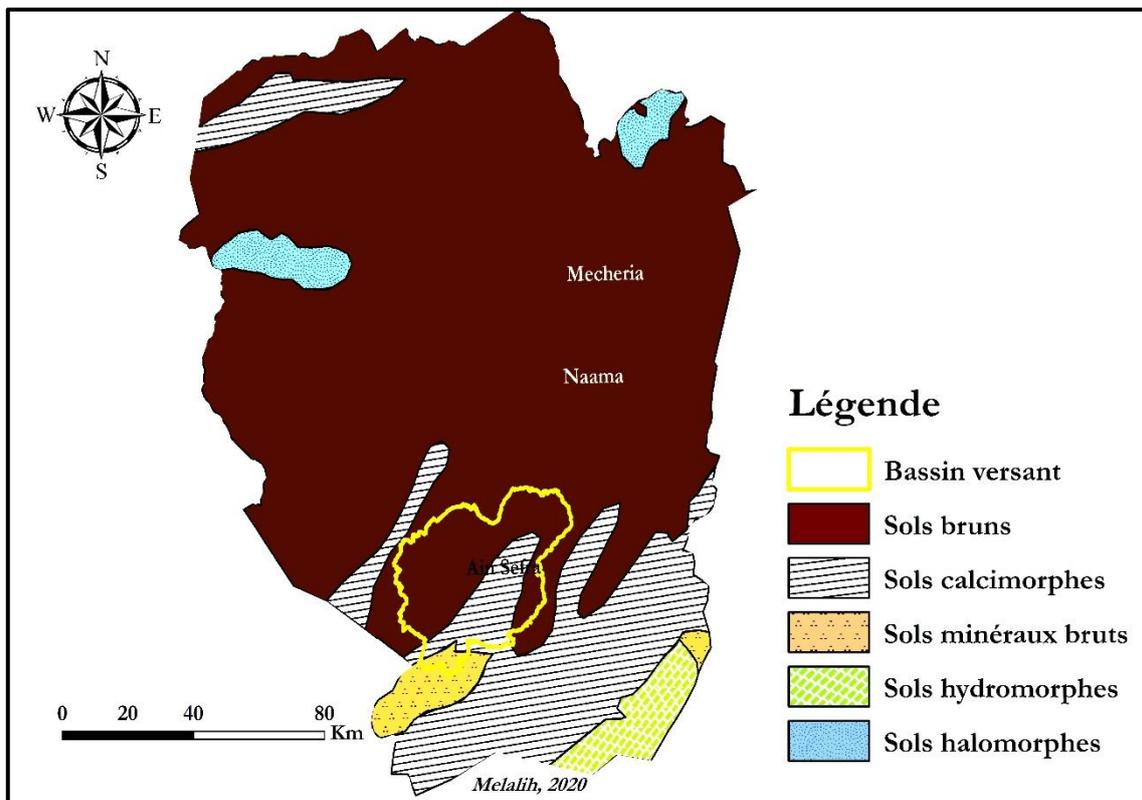


Figure 18. Carte des sols de la zone d'étude ; extraire de la carte des sols d'Afrique 1/5 000 000e, feuille 6 (D'hoore et Dutil, 1963), modifiée.

I.5 Cadre hydrologique et hydrogéologique

La disposition du réseau hydrographique est liée en grande partie à l'évolution des phénomènes structuraux qui ont affecté la région au cours des temps géologiques (Boughalem, 2013). Un réseau hydrographique est un ensemble composé de chenaux qui permettent de drainer une partie des eaux de surface vers l'exutoire du bassin versant. Le chevelu hydrographique retrace les principaux accidents ayant affecté leurs formations lithologiques en se modifiant au rythme du mouvement tectonique. En effet, la structure du relief détermine un réseau hydrographique et les écoulements de la région, ce qui est à l'origine du caractère endoréique de ces Oueds.

La zone des Monts des Ksour et de l'espace présaharien, Du fait de son relief de type montagneux, celle-ci présente une structure hydrologique plus importante, avec un réseau plus dense et plus hiérarchisé que celui de la zone des hautes plaines steppiques.

Les principaux Oueds de la zone d'étude (Fig. 19) :

-Les Oueds Fidhchalli et Mekheizen, qui drainent respectivement les Djebels Bouamoud et Elhairech et qui se rejoignent au niveau de Sidi Maâmar ;

- Les Oueds Sfissifa (dont l'origine remonte aux précédents oueds) et Benyakhou, qui rejoignent Oued Seddar en aval et qui s'alimentent l'Oued El Breidj, qui drainent la partie nord des djebels : M'zi, Mir djebel et Mekter ;

- L'Oued Tirkount, qui draine les djebels : Morghad et Aïssa ;

- Les Oueds El Breidj et Mouilah (Oued Tirkount), qui drainent les flux des montagnes des Ksour et qui se rejoignent au niveau du centre-ville d'Ain Sefra, pour donner naissance à l'Oued portant le nom de la ville ;

- L'Oued Rhouiba en aval se draine par les Oueds Ain Sefra et Tiout ;

- L'Oued Namous, l'artère principale coule en aval de façon non pérenne, du Nord vers le Sud, vers le Grand l'Erg Occidental, une zone où les eaux des Monts des Ksour sont perdues sur une distance de 350 Km plus en aval pour atteindre la plaine saharienne.

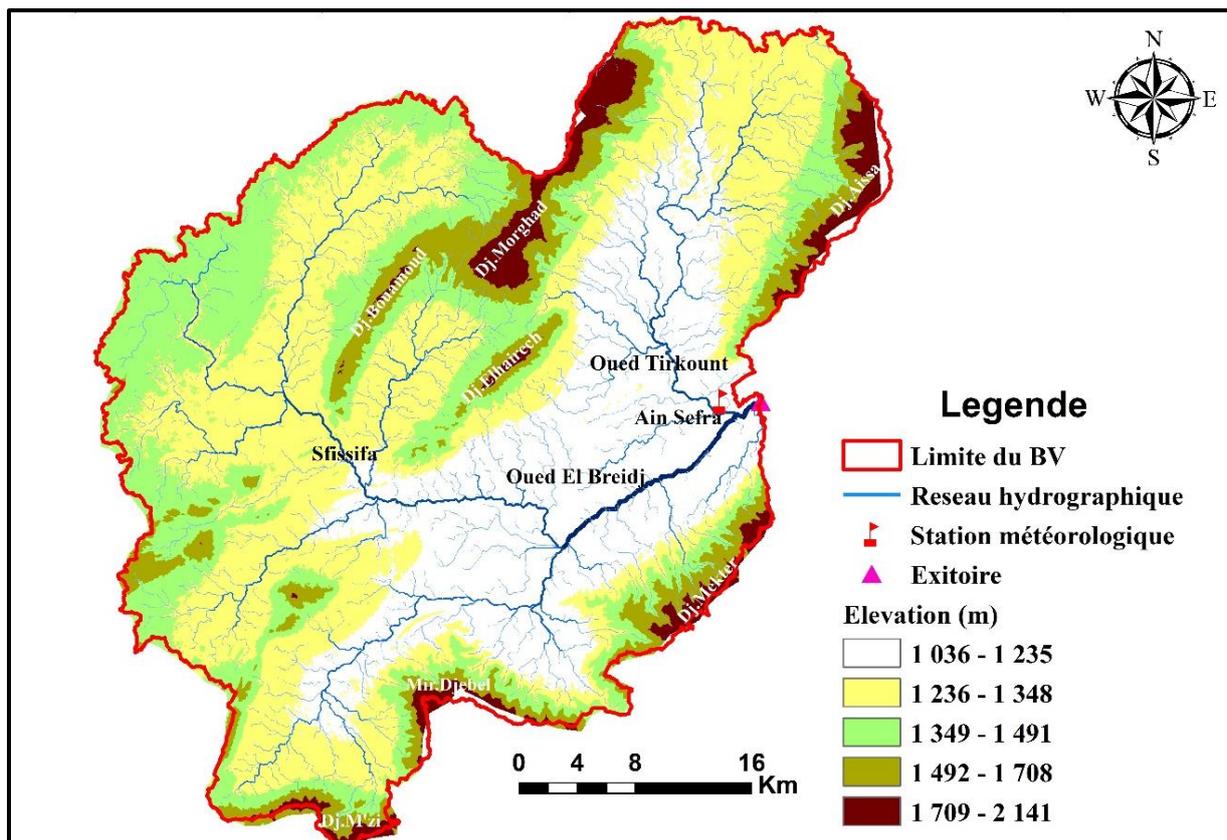


Figure 19. Carte du réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Sur le plan hydrogéologique, la zone d'étude sera constituée des écoulements qu'ils sont endoréique, les Oueds coulent uniquement durant les courtes périodes qui suivent les pluies. Au cours de ces écoulements, sur un sol à végétations espacés ou inexistantes, une plus grande quantité d'eau est perdue par évaporation que par infiltration, localement dans les dépressions, comme les Gueltas et les Dayats.

Les cours d'eau ne sont pas pérennes et ne coulent, de manière épisodique, qu'en périodes pluvieuses. De même, les écoulements provoqués par les sources, témoignent des potentialités phréatiques produites par le relief atlasique de la région, mais en d'autres saisons, ils sont insignifiants en raison de la forte évaporation.

I.5.1 Caractéristiques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

Le bassin versant constitue un objet très complexe dont l'ensemble de ses caractéristiques (géométriques, géologiques, physiographiques, humaines, etc.) interviennent non seulement dans la réaction hydrologique du bassin à la sollicitation des précipitations (régime d'écoulement) mais également, en amont et pour certaines d'entre elles (altitude, exposition...), directement sur le processus de formation des précipitations.

La morphométrie du bassin versant représente un facteur essentiel qui permet de contrôler le niveau des eaux de ruissellement ainsi que la gravité des crues, face à sa couverture végétale. La réaction d'un bassin versant de forme très allongée est différente de celle d'un bassin versant de forme ramassée, en sorte qu'un profil en pente du talweg du bassin principal ne réagit pas de la même manière qu'un autre de plaine. Par conséquent, la configuration géométrique affecte directement le temps de réponse, qui représente le temps de parcours l'eau à travers le système de drainage, et par conséquent le type d'hydrogramme (**Melalih, 2012**).

On peut facilement estimer ces caractéristiques géométriques à partir de modèles numériques de terrain, ce qui permet de délimiter le bassin versant concerné par l'étude et d'extraire automatiquement tous les paramètres caractérisant le relief. Pour cela, le recours au logiciel SIG est indispensable pour développer cette démarche.

A. Caractéristiques géométriques

A.1. Surface « A »

Le bassin versant étant l'aire de réception des précipitations et d'alimentation des cours d'eau, les débits vont être en partie reliés à sa surface. Il est important de connaître la surface d'un bassin versant, puisqu'elle est à la base de tous les calculs hydrologiques et de toutes les actions pour son aménagement. Les limites de ce bassin versant sont formées par ses divisions qui le séparent des autres bassins versants limitrophes, elles sont aisément identifiables là où le relief est bien marqué. La surface « A » d'un bassin est généralement exprimée en km². En ce qui nous concerne, la surface du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est déterminée de manière automatique en utilisant les images satellites du logiciel ArcGIS et égale à 1903,5 km².

A.2. Périmètre «P»

Le périmètre du bassin versant est la longueur du contour du bassin versant suivant au mieux la sinuosité des crêtes. Il est possible de mesurer le périmètre à l'aide d'un curvimètre ou automatiquement par le logiciel ArcGIS comme pour la nôtre. Le périmètre du bassin versant du l'Oued Ain Sefra est $P= 276$ Km.

A.3. Morphologie et Forme du bassin

A.3.1 L'indice de compacité de Gravelius (1914) « Kc»

Le coefficient de compacité a une influence sur l'écoulement. Il est défini comme le rapport entre le périmètre du bassin et la circonférence du cercle ayant la même superficie que le bassin. Il est donné par la formule (I.1) Où P et A sont respectivement le périmètre et la superficie du bassin.

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (I.1)$$

Plus le coefficient s'éloigne de 1, plus la piscine a une forme allongée.

Avec $K_c=1,77$, la forme du bassin est allongée, ce qui favorise les faibles débits de pointe et le temps de transport est plus important (le temps de transport est moins important dans le cas d'un bassin rond que dans le cas d'un bassin allongé).

A.3.2 Rectangle équivalent ou Rectangle de Gravelius

Pour pouvoir comparer les bassins versants entre eux en termes d'influence de leurs caractéristiques sur l'écoulement, une notion de rectangle équivalent est introduite. On suppose que, au sein d'un bassin versant donné, le débit d'un écoulement est approximativement le même de celui d'un rectangle ayant la même superficie, qui possède le même coefficient de Gravelius K_c , une même distribution hypsométrique sous des conditions climatiques similaires, avec la même composition des sols, le même couvert végétal ainsi que la même densité de drainage.

Est une transformation purement géométrique en un rectangle de dimension (L, l) ayant la même surface que le bassin versant.

$$P = 2(L + l) = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{0.28} \quad (I.2)$$

$$K_c = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}} = 0.28 \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (I.3)$$

$$L = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c}\right)^2} \right] \quad (I.4)$$

$$l = \frac{K_c \cdot \sqrt{A}}{1.12} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_c}\right)^2} \right] \quad (I.5)$$

Soit L et l la longueur et la largeur du rectangle en Km ;

K_c : L'indice de compacité de Gravélius ;

A : La surface du bassin versant (km^2) ;

P : Le périmètre du bassin versant (km) ;

D'où : $L = 122,32 \text{ Km}$, $l = 15,53 \text{ Km}$.

B. Caractéristiques topographiques (relief)

Le relief est un élément primordial qui détermine en grande partie le potentiel de ruissellement des sols, leur infiltration ainsi que leur évaporation. Ce facteur est un élément capital qui intervient dans le comportement hydrologique d'un bassin. De plus, la majorité des facteurs météorologiques et hydrologiques dépendent directement de l'altitude, puisque dans les régions montagneuses, la vitesse d'écoulement des eaux est en principe plus importante que dans les plaines. Les paramètres qui caractérisent notre relief sont les suivants :

B.1. Courbe hypsométrique

Ce relief se caractérise le plus souvent par une courbe hypsométrique du bassin ; sa surface est (exprimée en pourcentage) (**Tab. 3**) dont chaque point est au moins égal à une altitude donnée en ordonnée (**Fig. 20**). Cette courbe permet de donner un aperçu plus synthétique sur la pente et par conséquent sur le relief du bassin. Elle représente donc la distribution de la surface de ce dernier en fonction de son altitude. Elle est susceptible de changer avec le temps au fur et à mesure que le bassin est consommé par l'érosion. Cette courbe hypsométrique peut aussi servir de référence pour les valeurs de H_5 et H_{95} dans le calcul d'indice global d'un bassin versant.

Tableau 3. Répartition altimétrique du bassin de l'Oued Ain Sefra par tranche d'altitude

Altitude (m)	Surfaces Partielles		Surfaces Cumulées	
	Km2	%	Km2	%
1036-1173	237,98	12,50	237,98	12,50
1173-1240	322,93	16,96	560,91	29,46
1240-1305	353,46	18,57	914,37	48,03
1305-1371	457,39	24,03	1371,76	72,06
1371-1454	222,50	11,69	1594,27	83,75
1454-1564	124,15	6,52	1718,41	90,27
1564-1695	88,60	4,65	1807,01	94,93
1695-1851	58,76	3,09	1865,77	98,02
1851-2242	37,73	1,98	1903,5	100,00

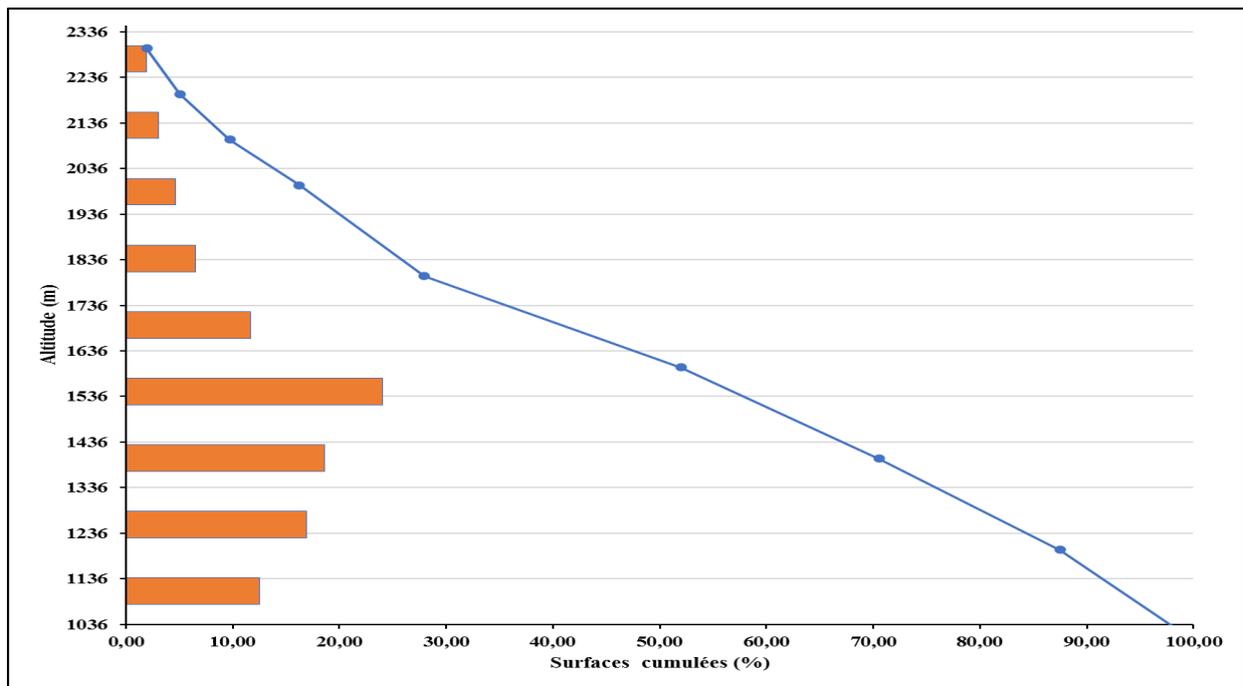


Figure 20. La courbe hypsométrique et diagramme des fréquences

L'analyse de la carte hypsométrique (**Fig. 20**) nous donne une approximation de la longueur des versants en fonction de l'altitude et des variations de la pente sur un versant donné. On remarque que la pente moyenne est de 1336.14 mètres. Ceci favorise plus le ruissellement que l'infiltration et la vitesse de l'écoulement explique l'ampleur de l'entaille sur les versants du bassin.

B.2. Altitudes minimales et maximales

Elles sont directement obtenues à partir d'un MNT. L'altitude maximale représente le point le plus élevé du bassin alors que l'altitude minimale considère le point le plus bas de celui-ci, qui se trouve généralement à exutoire :

- Altitude minimale : $H_{\min} = 1036$ m ;
- Altitude maximale : $H_{\max} = 2242$ m.

B.3. Altitude moyenne

L'altitude moyenne est tirée directement de la courbe hypsométrique, ou en lisant sur une carte topographique, ou par MNT, qui nous calculons directement sur ArcGIS. On peut la définir par la formule suivante :

$$H_{moy} = \frac{\sum A_i \cdot H_i}{A} \quad (I. 6)$$

Avec :

H_{moy} : Altitude moyenne du bassin [m] ;

A_i : Aire comprise entre deux courbes de niveau [km^2] ;

H_i : Altitude moyenne entre deux courbes de niveau [m] ;

A : Superficie totale du bassin versant [km^2].

Tableau 4. Détermination de l'altitude moyenne

Altitude (m)	H_i (m)	A_i (Km2)	$(A_i \cdot H_i)/A$
1036-1173	1104,5	237,98	138,09
1173-1240	1206,5	322,93	204,68
1240-1305	1272,5	353,46	236,29
1305-1371	1338	457,39	321,51
1371-1454	1412,5	222,50	165,11
1454-1564	1509	124,15	98,42
1564-1695	1629,5	88,60	75,85
1695-1851	1773	58,76	54,73
1851-2242	2046,5	37,73	40,56

Donc $H_{moyenne} = 1335,24 \text{ m}$

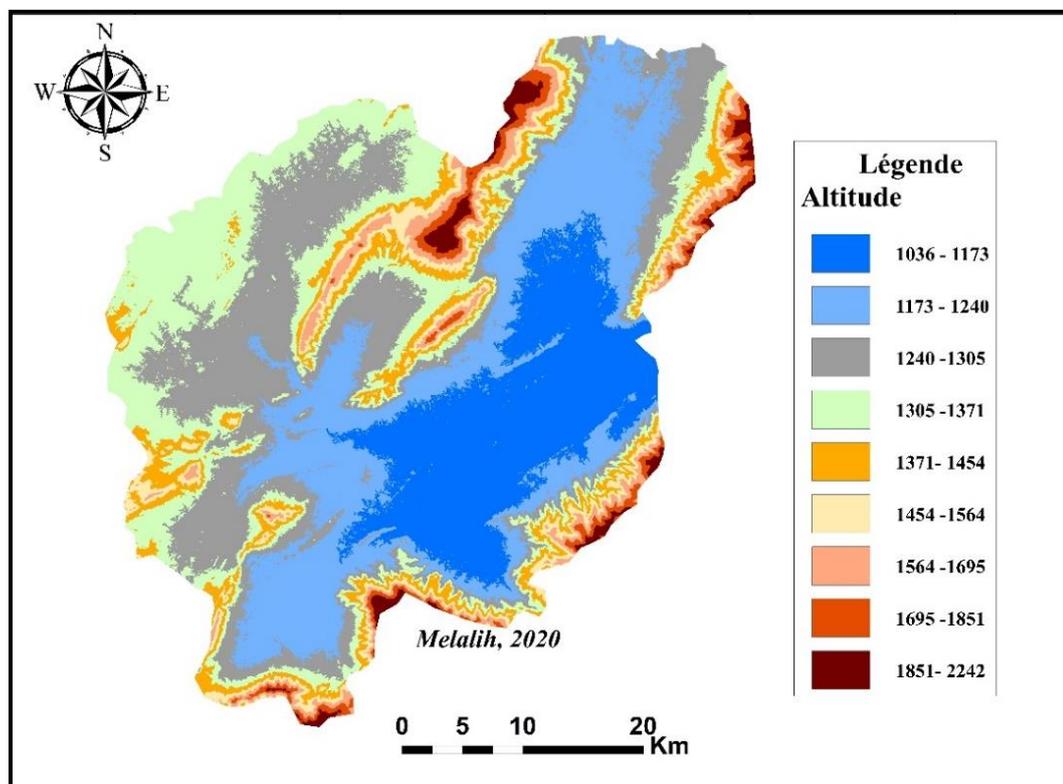


Figure 21. Carte Hypsométrique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

B.4. Altitude médiane

Il s'agit de la valeur de l'altitude qui divise l'aire du bassin de façon à ce que 50% de la superficie du bassin se caractérise par des côtes supérieures et l'autre moitié par des côtes

inférieures. Sur une courbe hypsométrique, l'altitude médiane est donnée par la valeur de la côte correspondant à une fréquence de 50%. Cette grandeur se rapproche de l'altitude moyenne, dans le cas où la courbe hypsométrique du bassin concerné présente une pente régulière.

L'altitude médiane de notre bassin versant de l'Oued Ain Sefra est $H_{médiane} = 1611 \text{ m}$.

B.5 Etude de la pente du bassin versant

Le gradient de la pente du terrain a une influence importante sur l'intensité de l'érosion hydrique, ce gradient est un critère de différenciation important de ces formes de relief. Dès que la pente est suffisante pour permettre à l'eau de ruisseler, le terrain est sujet à l'érosion hydrique. Sur une forte pente, l'eau de pluie en excédent tend à ruisseler plus vite et à causer une érosion plus grave. Elle joue un rôle primordial en hydrologie, par son influence directement sur le ruissellement et l'infiltration des eaux de pluies.

B.5.1 Indice de pente de Roche I_p

La pente moyenne détermine la vitesse avec laquelle l'eau se rend à l'exutoire du bassin donc le temps de concentration. En conséquence, une pente abrupte favorise et accélère l'écoulement superficiel et l'action érosive de l'eau, par contre, une pente douce ou nulle donne à l'eau le temps de s'infiltrer, entièrement ou en partie, dans le sol et favorise le dépôt de la charge solide dans l'eau.

Cet indice I_p défini par Roche, est déterminé à partir de la moyenne de la racine carrée des pentes mesurées sur le rectangle équivalent, et pondéré par les surfaces entre deux courbes de niveau H_i est H_{i-1} . Il est donné par la relation suivante :

$$I_p = \frac{1}{\sqrt{L}} \sum_i^n \sqrt{A_i \cdot D_i} \quad (I.7)$$

Avec :

I_p : Indice de pente de Roche en (%) ;

L : Longueur du rectangle équivalent en (Km) ;

A_i : Représente la fraction en % de la surface A comprise entre deux courbes de niveau voisine distantes de D_i .

Tableau 5. Paramètre de calcul de l'indice de la pente de Roche I_p

Tranche d'altitudes (m) H_i-H_{i-1}	Surface partielle (km ²)	Surface partielle % A_i	Différence d'altitude D_i	$A_i \cdot D_i$	$\sqrt{A_i \cdot D_i}$
1036-1173	237,98	12,50	137	1712,5	41,38
1173-1240	322,93	16,96	67	1136,32	33,71
1240-1305	353,46	18,57	65	1207,05	34,74
1305-1371	457,39	24,03	66	1585,98	39,82
1371-1454	222,50	11,69	83	970,27	31,15
1454-1564	124,15	6,52	110	717,2	26,78
1564-1695	88,60	4,65	131	609,15	24,68
1695-1851	58,76	3,09	156	482,04	21,95
1851-2242	37,73	1,98	391	774,18	27,82
Somme	1903,5	100	-	-	282,03
$I_p = 25,5\%$					

B.5.2 Indice de pente globale I_g : (Dubreuil, 1974)

L'aptitude de terrain au ruissellement dans un bassin versant est contrôlée en grande partie par l'influence du relief. Pour mettre ça en évidence, on a utilisé l'indice de pente global I_g . Cet indice présente l'avantage d'être très simple et facile à calculer. Il est exprimé en m/km, est donné par le rapport de la dénivelée ($D = H_{5\%} - H_{95\%}$ en m); estimée à partir de la courbe hypsométrique; à la longueur du rectangle équivalent en km (L), il est donné par la relation suivante:

$$I_g = D/L \quad (I. 8)$$

Où,

I_g : Indice de pente globale ;

D : Dénivelée (m) ; où $D = H_{5\%} - H_{95\%}$, avec $H_{5\%}$ et $H_{95\%}$: sont les altitudes correspondantes à $A_{5\%}$ et $A_{95\%}$ sur la courbe hypsométrique.

L : La longueur du rectangle équivalent (km)

-Pour notre bassin versant, on prend la dénivelée D égale à $H_{5\%} - H_{95\%}$; $H_{5\%} = 2189$ m ;

$H_{95\%} = 1087$ m ; $L = 122,32$ Km. Soit : **$I_g = 9,009$ m/km $\rightarrow I_g = 0,09$ %**

Tableau 6. Classification d'O.R.S.T.O.M de l'indice de la pente globale (I_g)

Classe du relief	Type du relief	I_g (%)
R ₁	Relief très faible	$I_g < 0.002$
R ₂	Relief faible	$0.002 < I_g < 0.005$
R ₃	Relief assez faible	$0.005 < I_g < 0.01$
R ₄	Relief modéré	$0.01 < I_g < 0.02$
R ₅	Relief assez fort	$0.02 < I_g < 0.05$
R ₆	Relief fort	$0.05 < I_g < 0.1$
R ₇	Relief très fort	$0.1 < I_g$

La valeur de I_g trouvée : $0.05 < I_g = 0.09 < 0.1$ indique suivant la classification de L'O.R.S.T.O.M (**Tab. 6**) que le bassin de l'Oued Ain Sefra a un relief fort.

B.5.3 Indice de pente moyenne I_{pm}

L'indice de pente moyenne est le rapport de la dénivelée totale du rectangle équivalent sur sa longueur. Elle est alors donnée par la relation suivante :

$$I_{pm} = D_t / L \quad (I.9)$$

Où,

D_t : Dénivelée totale du rectangle équivalent ($H_{\max} - H_{\min} = 2242 - 1036 = 1206$ m) ;

L : Longueur du rectangle équivalent (122,32 Km).

$$I_{pm} = 9,86 \text{ m/Km} \quad I_{pm} = 0,99 \%$$

B.5.4 Dénivelée spécifique D_s

L'indice I_g décroît pour un même bassin quand L augmente (donc en général quand la surface du bassin versant augmente), il était donc difficile de comparer des bassins de tailles différentes.

La dénivelée spécifique D_s ne représente pas cet inconvénient : elle dérive de la pente globale I_g en la corrigeant de l'effet de surface admis étant inversement proportionnel à \sqrt{A} . Elle donne lieu à une deuxième classification de l'O.R.S.T.O.M, Indépendante des surfaces des bassins (**Tab. 7**) et s'obtient par la formule suivante :

$$D_s = I_g \times \sqrt{A} \quad (I. 10)$$

Où

I_g : Indice de pente globale.

A : Surface du bassin versant (Km).

Tableau 7. Classification de la dénivelée spécifique (Ds) d'après l'O.R.S.T.O.M

Classe du relief	Type du relief	Ds (m)
R ₁	Relief très faible	Ds < 10m
R ₂	Relief faible	10 < Ds < 25m
R ₃	Relief assez faible	25 < Ds < 50m
R ₄	Relief modéré	50 < Ds < 100m
R ₅	Relief assez fort	100 < Ds < 250m
R ₆	Relief fort	250 < Ds < 500m
R ₇	Relief très fort	Ds > 500m

La dénivelée spécifique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est de 393,06 m (250 < Ds < 500 m), donc son relief est fort.

B.6. Établissement de la carte des pentes

La carte des pentes est un élément fondamental de toute étude morphométrique d'un bassin versant, du fait que les pentes sont un des éléments majeurs de l'écoulement de l'eau et un élément important qui intervient dans l'érosion hydrique. Cette carte est établie au moyen du logiciel ArcGIS et elle est exprimée en degrés ou en pourcentage (**Fig . 22**).

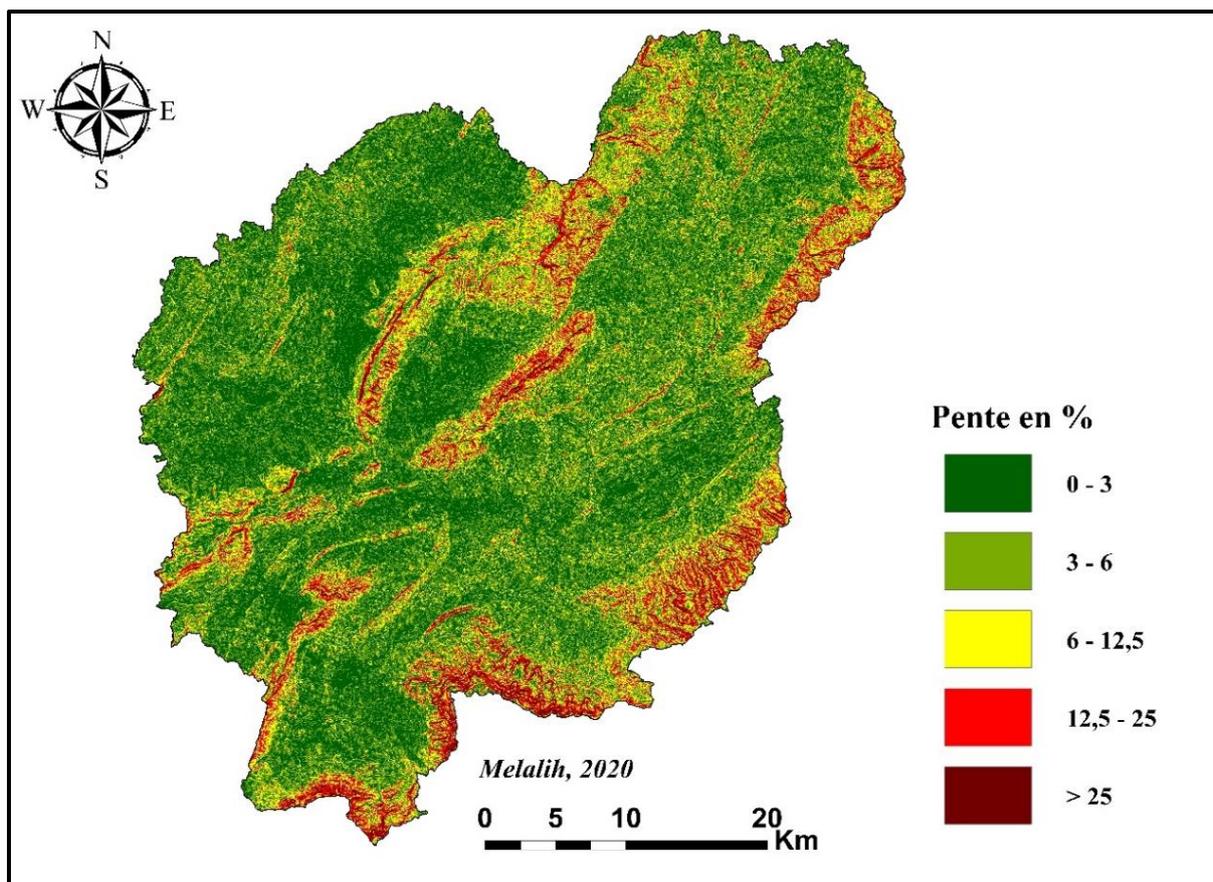


Figure 22. Carte des pentes du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

Tableau 8. Les classes de pentes et leurs superficies

Classes	Superficie (Km ²)	Superficie (%)
0-3 %	596.63	31.34
3-6 %	637.80	33.50
6-12.5 %	217.79	11.44
12.5-25 %	316.20	16.61
>25 %	138.52	7.27

L'examen de la carte des pentes (**Fig. 22** et **Tab. 8**) nous a permis de distinguer les unités morphologiques suivantes :

- ❖ Sur les pentes très fortes et raides atteint 49% de l'inclinaison, sont localisée principalement au Nord-Est et au Sud du bassin versant correspondant à la zone montagneuse.
- ❖ Au centre et au Nord-Ouest du bassin, les pentes s'adoucissent et oscillent entre 0 et 3% occupant 31.34% de la superficie du bassin, y compris la région d'Oulakak, Belguered,

Belhandjir, Elaach vers Ain Sefra, les terrains sont assez stables occupés généralement par l'agriculture.

- ❖ A partir de cette zone, les pentes augmentent pour atteindre des valeurs de 3 à 12.5% s'étalant sur une superficie de 33.50% du bassin et de 12.5 à 25% sur une superficie de 16.61% de la surface totale du bassin.

B.7. Carte de vulnérabilité selon l'exposition des versants

L'exposition des pentes joue également son rôle dans le processus érosif dans la mesure où les pentes qui reçoivent les plus grandes quantités d'eau seront les plus touchées, sans compter les effets de l'utilisation des sols, puisque le couvert végétal naturel joue toujours un rôle important dans la lutte contre l'érosion.

Une orientation Nord (ubac) avec ses variantes (Nord-Est et Nord-Ouest), davantage située à l'ombre, est plus fraîche, où l'évaporation est moins active, les pentes gardent plus d'humidité favorable au développement du thuya et de certaines espèces de chêne vert et d'alfa ce qui protège le sol contre l'érosion hydrique.

Les versants exposés au Sud (adret) se regroupent avec ses variantes, les pentes plus chaudes et sèches, favorisant le développement de l'alfa, qui sont parfois dépourvue de toute formation végétale et plus sensibles au risque de ruissellement dans toutes ses formes générant des ravines jusqu'aux bad-lands.

Par conséquent, en fonction de l'exposition, les actions érosives et le profil topographique peuvent être différents. De plus, malgré la même lithologie, le côté ouest est moins raviné que le côté est. On remarque également que le versant Sud est plus affecté par de larges ravins et entaillé par des badlands.

Le tableau 9, illustre les différentes expositions et les poids attribués pour chacune :

Tableau 9. Classes des expositions en fonction de leurs superficies.

Expositions	Superficie (Km²)	Pourcentage (%)
Plats	16,86	0,89
Nord	531,54	27,92
Est	419,15	22,02
Sud	503,89	26,47
Ouest	432,06	22,70

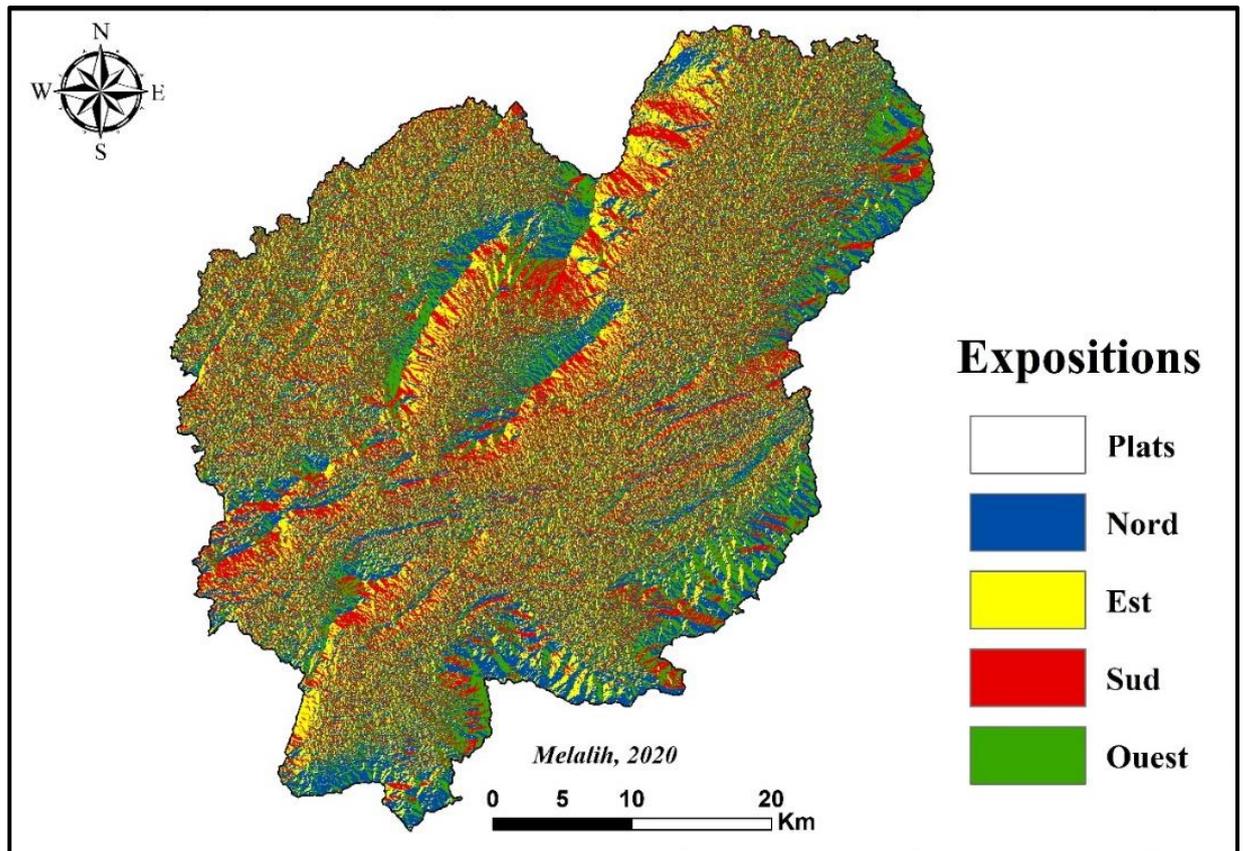


Figure 23. Carte des expositions du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

A partir de la figure des expositions et le **Tab.9**, il ressort que le bassin de l'Oued Ain sefra est dominé par les versants exposés, en grande partie, vers le Nord et le Sud sont représentées respectivement avec des parts allant à 27.92% et 26.47%, et à un degré moindre, vers l'Est et l'Ouest avec 22% de la surface totale du bassin pour les deux expositions (**Fig. 24**).

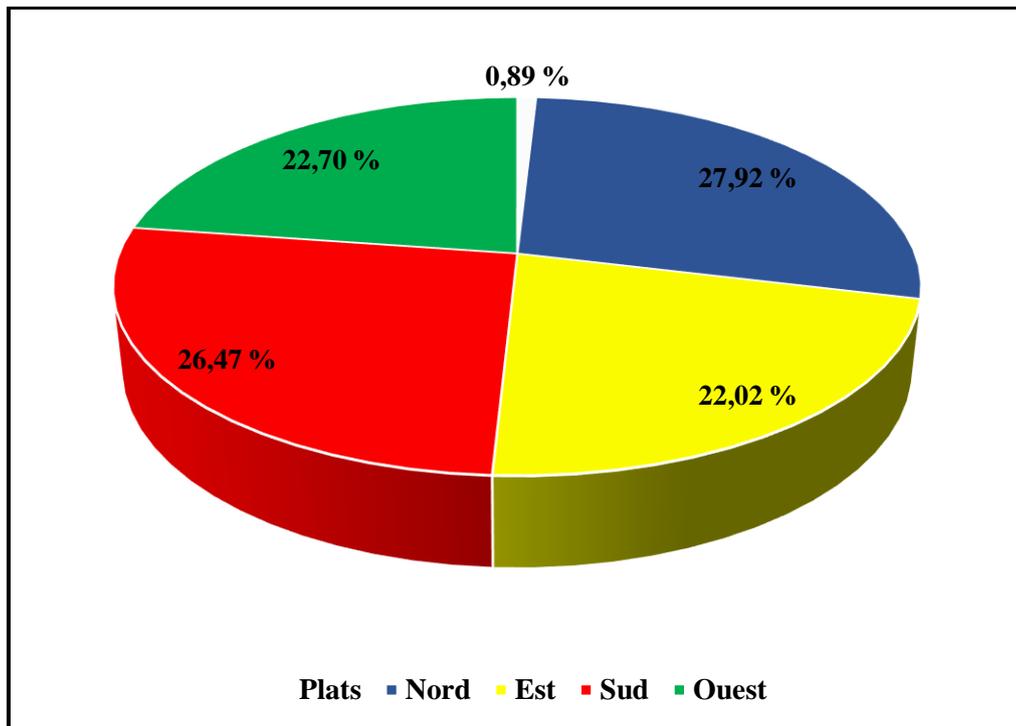


Figure 24. Fréquences des expositions des versants

C. Caractéristiques hydrographiques

Un réseau hydrographique désigne un ensemble hiérarchique et structuré de canaux qui assurent le drainage superficiel permanent ou temporaire d'un bassin versant ou d'une région donnée ; par les eaux de ruissellement ou le retour des eaux souterraines, soit comme source, soit par retour continu le long du lit du cours d'eau vers un seul point de vidange du bassin versant (exutoire).

En effet, le système hydrographique est d'autant plus dense que le climat est humide, que les précipitations sont abondantes, que les pentes sont raides et que les roches ou les formations superficielles sont peu perméables.

L'analyse du comportement hydrologique d'un bassin versant (système hydrologique) s'effectue le plus souvent par le biais de l'étude de la réaction hydrologique du bassin face à une sollicitation (la précipitation). Cette réaction est mesurée par l'observation de la quantité d'eau qui s'écoule à l'exutoire du système. La représentation graphique de l'évolution du débit Q en fonction du temps t constitue un hydrogramme de crue. La réaction du bassin versant peut également être représentée par un limnigramme qui n'est autre que la représentation de la hauteur d'eau mesurée en fonction du temps.

Le recours à l'imagerie spatiale permet notamment la caractérisation du réseau hydrographique d'un bassin versant, pour lequel différents paramètres descriptifs sont utilisés

pour sa définition, tel que le rapport de confluence, le rapport des longueurs et la densité de drainage (Dd).

Le réseau hydrographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est composé de deux Oueds principaux (Oued El Breidj et Oued Tirkount) et d'une série de tributaires : Oued Fidhchalli, Oued Mekheizèn, Oued Benyakhou, Oued Sfissifa et Oued Seddar (**Fig. 25**).

Hydrologiquement, les cours d'eau ne sont pas pérennes et ne coulent, de manière épisodique, qu'en périodes pluvieuses. L'écoulement provoqué par les sources, témoigne des potentialités phréatiques que produit le relief atlasique de la région, mais en d'autres saisons, il est insignifiant en raison de la forte évaporation.

On note la présence d'un écoulement assez dense, hiérarchisé, prenant naissance sur les versants des massifs de l'Atlas Saharien, est orienté entièrement en direction du sud vers le grand erg occidental, traversant ainsi l'ensemble de la barrière montagneuse, dont la partie montagneuse des Monts Ras Touil et de Morghad (2136) et Mekhter et aussi Mir- Djebel qui constitue les régions les plus arrosées du bassin.

C.1. Hiérarchisation et classification du réseau hydrographique

Il est possible de chiffrer la ramification d'un réseau hydrographique en attribuant un numéro à chaque cours d'eau selon son importance. Avec cette numérotation, dite ordre du cours d'eau, nous adopterons la méthode initialement proposée par **Horton** en **1945** et modifiée par **Strahler** en **1957** ; Cette méthode consiste à classer les cours d'eau et d'affecter un ordre à chacun d'entre eux suivant la règle : *"Est considéré d'ordre (n+1) tout cours d'eau formé par la réunion de deux cours d'eau d'ordre (n); tout cours d'eau sans affluent étant d'ordre 1"*.

En utilisant le logiciel ArcGIS, le bassin versant de l'Oued Ain Sefra est d'ordre 6 et la classification de STRAHLER nous a permis de classer les réseaux hydrographiques de notre bassin et les ordres des cours d'eau les plus élevés comme suit :

- Ordre $i = 6$, pour les oueds El Breidj et Tirkount.
- Ordre $i = 5$ pour l'oued Sfissifa ;
- Ordre $i = 4$ pour les oueds Seddar ; Benyakhou ; Mkheizèn et Fidhchalli (**Fig. 25**).

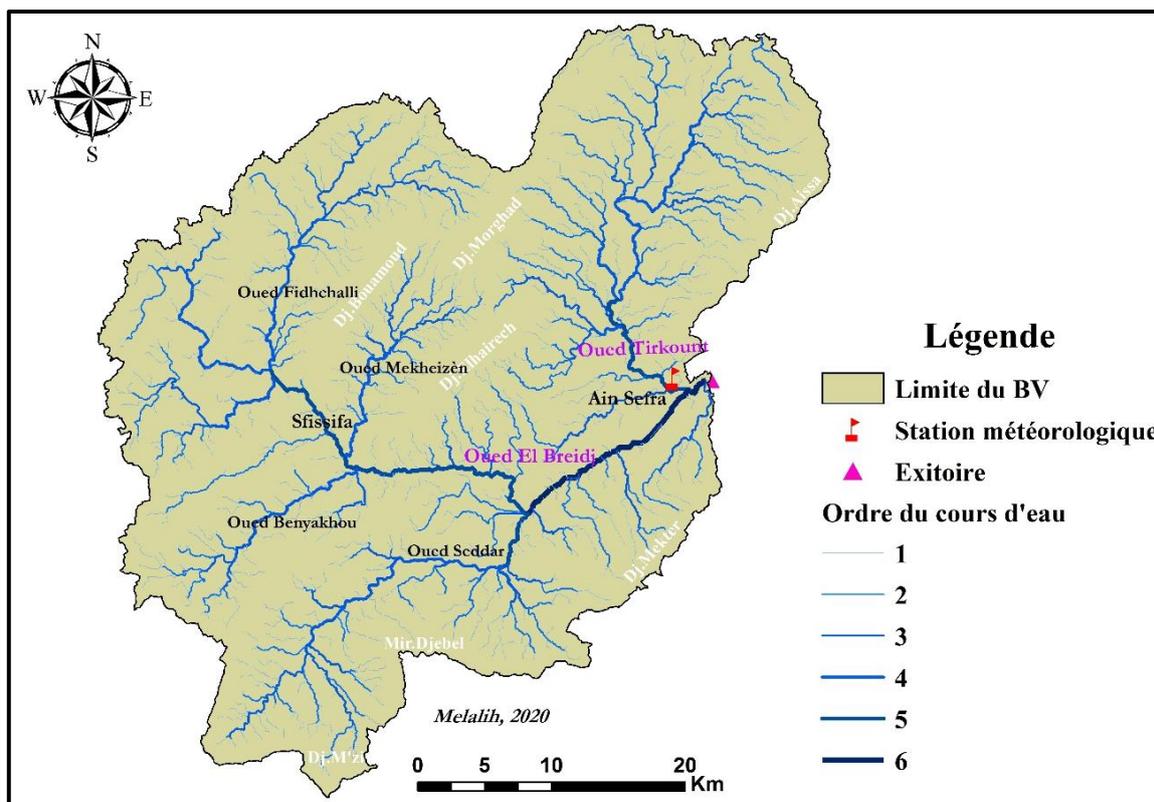


Figure 25. Classification du chevelu hydrographique du bassin versant de l'Oued Ain Sefra selon STRAHLER (1957).

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra compte en total 2596 cours d'eau, qui sont répartis selon l'ordre du cours d'eau comme suit :

Tableau 10. Classification des cours d'eau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

Ordre du talweg	Nombre	Longueur Min	Longueur Max	Longueur Moy	Somme des longueurs
1	1262	0,020	6,687	0,75	941,73
2	645	0,026	7,276	0,85	545,06
3	294	0,026	4,293	0,67	198,38
4	9	0,026	4,155	0,60	125,15
5	3	0,026	2,443	0,41	49,31
6	1	0,026	3,000	0,29	19,40
Total	2214				1879,02

C.2. Longueur du cours d'eau principal (L_p)

La longueur du cours d'eau principal représente la ligne qui relie l'exutoire et le point le plus éloigné à l'amont et sur le contour du bassin versant. C'est le cas de l'Oued El Breidj qui prend en charge les eaux de drainage des Oueds Tirkount et Sfissifa en traversant toute la dépression de notre zone d'étude Ain Sefra (**Fig. 26**). $L_p = 81.7 \text{ Km}$

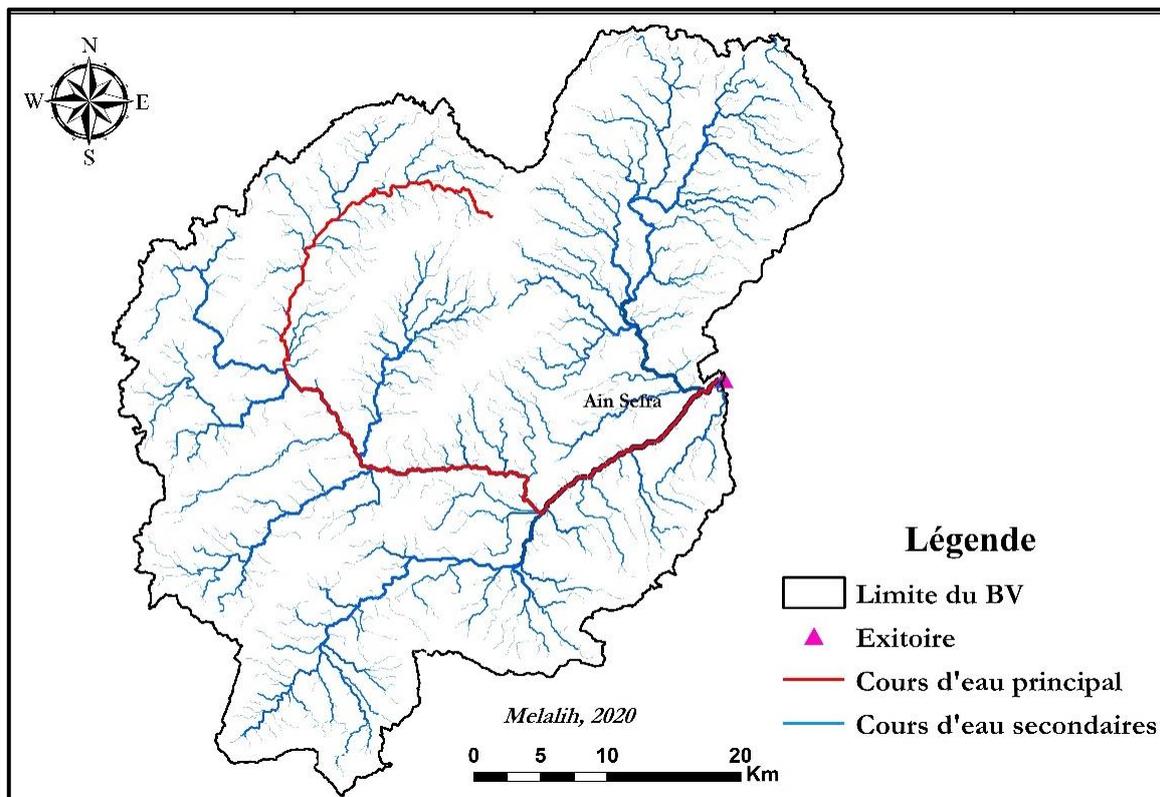


Figure 26. Cours d'eau principal du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

C.3. Degré de développement du réseau

C.3.1. La densité de drainage Dd (Km/Km²)

La densité de drainage, introduite par **Horton (1945)**, C'est le rapport entre la longueur total de tous les talwegs « L_i » en (Km) du bassin versant, à la surface « A » en (Km²), Elle reflète la dynamique du bassin, la stabilité du chevelu hydrographique et le type de ruissellement de surface. Elle est exprimée en Km/Km².

La densité de drainage exprime différents phénomènes physiques : la part relative de l'écoulement superficiel, de l'écoulement souterrain et la vigueur du relief. La densité de drainage croit avec l'abondance des précipitations, l'imperméabilité des roches, les formations superficielles, et la valeur de la pente. Ce critère, en favorisant le drainage des versants, réduit les durées d'infiltration en privilégiant le ruissellement (**Slimi, 2008**).

La densité de drainage est définie par la formule suivante :

$$Dd = \frac{\sum L_i}{A} \quad (I.11)$$

Où,

Dd : Densité de drainage en km/km² ;

L_i : Longueur cumulée de tous les thalwegs du bassin en km ;

A : Surface du bassin en km².

Le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a une densité de drainage égale à **0.98 km/km²**.

La valeur inverse de la densité de drainage, $C = 1/Dd$, s'appelle, selon Schumm, "Constante de stabilité du cours d'eau". Elle représente physiquement la surface du bassin nécessaire pour maintenir des conditions hydrologiques stables dans un vecteur hydrographique unitaire (section du réseau).

$$C = 1.02 \text{ Km}^{-1}$$

C.3.2. La densité hydrographique

La densité hydrographique représente le nombre des cours d'eau par unité de surface :

$$F = \frac{\sum N_i}{A} \quad (\text{I.12})$$

Avec :

F : Densité hydrographique (km²) ;

N_i : Nombre des cours d'eau;

A : Surface du bassin versant (km²).

$$\text{Soit } F = 1.16 \text{ Km}^2$$

C.3.3. Coefficient de Torrentialité

Il est défini comme étant le rapport entre la fréquence des cours d'eau d'ordre 1 avec la densité de drainage :

$$C_t = Dd \times F \quad (\text{I.13})$$

Sachant que : $F_1 = N_1 / A$

Où

Dd : Densité de drainage ;

F_1 : La fréquence des talwegs d'ordre 1 ($F_1 = N_1 / A = 1262 / 1903.5 = 0.66$).

$$\text{Soit } C_t = 0.98 * 0.66 \quad C_t = 0.64 \text{ Km/km}^4$$

Nous remarquons que la valeur calculée est de $C_t = 0.64$, ceci est dû au fait que l'incision au niveau des lits et le sapement des berges est marqué. Donc ce paramètre permet l'estimation de la grandeur de l'énergie érosive du cours d'eau.

C.3.4. Le rapport de confluence (Rc) et des longueurs (RL)

Le rapport de confluence représente le nombre de vecteurs d'un ordre du cours d'eau par rapport à un nombre d'ordre supérieur. Il est défini par :

$$R_c = N_n / N_{(n+1)} \quad \text{et} \quad R_L = L_n / L_{(n+1)} \quad (\text{I.14 et I.15})$$

Avec :

R_c : Rapport de confluence des cours d'eau ;

R_L : Rapport des longueurs des cours d'eau ;

N_n : Nombre des cours d'eau d'ordre n ;

L_n : longueur moyenne des cours d'eau d'ordre n;

$N_{(n+1)}$: Nombre des cours d'eau d'ordre suivant ;

$L_{(n+1)}$: Longueur des cours d'eau d'ordre suivant.

Tableau 11. Le rapport de confluence (R_c) et des longueurs (R_L) du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

Ordre du talweg	Nombre d'ordre N_n	R_c	Longueurs L_n	R_L
1	1262	-	941,73	-
2	645	1,97	545,06	1,73
3	294	2,19	198,38	2,75
4	9	2,67	125,15	1,58
5	3	3	49,31	2,54
6	1	3	19,40	2,54

C.3.5. Fréquence des cours d'eau

Le nombre de cours d'eau d'ordre 1 par rapport à la surface du bassin versant étudié est la fréquence des cours d'eau : $Fr = \frac{1262}{1903,5}$ donc $Fr = 0.66 \text{ Km}^{-1}$

On peut constater que la fréquence du bassin versant est plus ou moins élevée, ce qui signifie également que son réseau hydrographique présente une hiérarchisation moyenne.

C.3.6. Temps de concentration (T_c)

Le temps de concentration (T_c) des eaux sur un bassin versant est défini comme étant le maximum de la durée nécessaire à une goutte ou une particule d'eau provenant de la partie la plus éloignée du bassin versant pour parcourir le chemin hydrologique entre ce point et l'exutoire. Tout dépend essentiellement de plusieurs facteurs : la forme du bassin, le couvert végétal, la lithologie, le relief et l'intensité des précipitations. Pour son calcul, nous faisons appel à les formules de :

❖ **Formule de GIANDOTTI :**

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5 L}{0,8\sqrt{H_{moy} - H_{min}}} \quad (I.14)$$

Où :

T_c = Temps de concentration (heures) ;

A : Surface totale du bassin versant (Km²) ;

L : Longueur du cours d'eau principal (km) ;

H_{moy} : Altitude moyenne (m) ;

H_{min} : Altitude minimale (m).

$T_c = 21.46$ heures

❖ **La formule dite Algérienne :**

En 1992, (Saadi et Tamani) in (Aissat, 2019) avaient déjà déterminé une formule de T_c à partir d'une analyse des événements (précipitations - inondations) enregistrés sur 15 bassins versants du Nord Algérien.

$$T_c = 0.0055 * A + 0.1657 * L + 0.0087 * Dh + 0.821 \quad (I.15)$$

Avec

T_c : Temps de concentration (heures) ;

A : Surface totale du bassin versant (Km²) ;

L : Longueur du cours d'eau principal (km) ;

Dh : différence entre l'altitude moyenne et l'altitude minimale (m).

$T_c = 27.43$ heures

A partir de ces valeurs, on constate que le temps de concentration est assez court, ce qui favorise les écoulements et permet une augmentation de la vitesse du ruissellement et par conséquent accentue le risque d'érosion. Ceci nous a donné une indication sur le débit maximal des crues pour différentes fréquences enregistrées.

Ce temps de concentration du bassin nous a permis aussi de mieux comprendre l'importance relative à la réponse hydrologique, en effet, il est fortement lié à la forme du bassin, mais aussi à d'autres facteurs tels que la pluviométrie, le relief, la couverture végétale et la nature des sols.

Alors que la vitesse de transfert des écoulements ce calcul de la façon suivante :

$$V_r = \frac{L}{T_c} \quad (I.16)$$

Où

V_r : Vitesse d'écoulement de l'eau (Km /h) ;

L : Longueur du cours d'eau principal (km) ;

T_c : Temps de concentration (h).

Soit : **$V_r = 3,81$ Km/h**

Il est indispensable de connaître tous les paramètres morphométriques relatifs au bassin versant afin de connaître leurs effets sur les variations du régime hydrologique.

Les caractéristiques géométriques qui caractérisent ce bassin ont une forte incidence sur les caractéristiques hydrologiques et en particulier sur son régime d'écoulement des eaux. Celles-ci sont représentées respectivement dans le tableau suivant :

Tableau 12. Récapitulatif des caractéristiques géométriques et morpho métriques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

Caractéristiques	Paramètres	Symboles	Unités	Valeurs
Géométriques	Surface	A	Km ²	1903,5
	Périmètre	P	Km	276
	Indice de compacité de Gravius	Kc	-	1,77
	Longueur du rectangle équivalent	L	Km	122,32
	Largeur du rectangle équivalent	<i>l</i>	Km	15,53
Topographiques	Altitude maximale	H _{max}	m	2242
	Altitude moyenne	H _{moy}	m	1335,24
	Altitude minimale	H _{min}	m	1036
	Altitude 5%	H _{5%}	m	2189
	Altitude 50%	H _{50%}	m	1611
	Altitude 95%	H _{95%}	m	1087
	Indice de pente de roche	I _p	%	25,5
	Indice de pente globale	I _g	%	0,09
	Indice de pente moyenne	I _{pm}	%	0,99
	Dénivelée spécifique	D _s	m	393,06
Hydrographiques	Longueur du cours d'eau principal	L _p	Km	81.7
	Densité de drainage	Dd	Km/Km ²	0.98
	Constante de stabilité du cours d'eau	C	Km ⁻¹	1.02
	Densité hydrographique	F	Km ²	1.16
	Coefficient de torrentialité	C _t	Km/km ⁴	0.64
	Rapport de confluence	R _c	-	1,97
	Rapport de longueur	R _L	-	1,73
	Fréquence des cours d'eau	F _r	Km ⁻¹	0.66
	Temps de concentration	T _c	Heures	21.46
	La vitesse d'écoulement de l'eau	V _r	Km/h	3,81

Conclusion

L'étude des caractéristiques géométriques du bassin versant de l'Oued Ain Sefra qui a une superficie totale de 1903,5 Km² et un périmètre de 276 km et un indice de compacité $K_C = 1,77$, celui-ci reflétant son allongement, des caractéristiques topographiques avec un relief assez fort et une topographie marquée par une altitude maximale de 2242 m et une altitude minimale de 1036 m, ainsi que par un indice de pente global $I_g=0,09\%$ ce qui engendre un écoulement important et hydrographiques (un réseau hydrographique assez dense avec une longueur de courant principal $L_p=81,7$ Km et un temps de concentration de 21,46 (heures), pour une vitesse d'écoulement de 3,81 (Km/h) donne des indications sur l'organisation de son relief accusé, la structuration de son réseau hydrographique est potentiellement favorable à l'érosion hydrique, sur des sols à majorité de types minéraux bruns, calcimorphes et minéraux bruts.



CHAPITRE II

Etude de caractéristiques climatiques
de la région d'étude

Chapitre II Etude de caractéristiques climatiques de la région d'étude

Introduction

Par définition, un climat est un ensemble des phénomènes météorologiques qui se produisent au sein de l'atmosphère durant une très longue période, à un point donné, à un endroit déterminé et à un moment donné. À notre niveau, le climat de notre région est influencé par celui de la Méditerranée, qui constitue un milieu de transition entre le monde tropical et tempéré. Ce climat est caractérisé avec des étés chauds et secs, et des hivers froids et un nombre élevé de jours ensoleillés sans pluie.

En effet, la steppe algérienne, dont le climat constitue l'une des principales caractéristiques des régions méditerranéennes arides et semi-arides, a fait l'objet de nombreuses études, à savoir notamment celle de **Seltzer (1946)** ; **Bagnouls et Gausson (1958)** ; **Stewart (1046-1968)** ; **Dubief (1959-1963)** ; **Pouget (1980)** ; **Djellouli (1981)** ; **Djellouli et Daget (1987)** ; **Djellouli (1990)** ; **Le Houerou (1995)** ; **Benabadji et Bouazza (2000)** ; **Aïdoud *et al.*, (2006)** ; **Hirche *et al.*, (2007)** et **Djellouli *et al.*, (2016)**. Tous montrent en effet que le climat est un paramètre déterminant du fait de son influence prédominante sur les zones steppiques, alors que les précipitations exercent une action primordiale dans la détermination de la sécheresse climatique mondiale. Elle contraste avec une saison estivale sèche et chaude alternant avec une saison hivernale froide, voire pluvieuse.

Ce climat est marqué par des manifestations météorologiques bien contrastées : une concentration des précipitations en quelques jours, le plus souvent en période fraîche d'octobre à avril et une pluviométrie ne dépassant rarement 400 mm, ainsi qu'un régime thermique relativement homogène.

La présente étude permet de caractériser les variations de température et de précipitations observées sur une période de 30 ans allant de 1989 à 2018. Les séries de données utilisées sont fournies par les services de l'O.N.M.

Nous nous sommes basés sur les données collectées auprès des trois stations de Mécheria, Naâma et Ain Sefra (**Fig. 27**), Cette dernière demeure la plus représentative dans la zone étudiée puisqu'elle était la seule station localisée dans notre bassin versant cible, sont présentées dans le tableau ci-après :

Tableau 13. Caractéristiques géographiques de stations météorologiques de la région étudiée

Stations	Altitude	Latitude	Longitude
Ain Sefra	1058 m	00° 36'W	32°77'N
Mécheria	1149 m	00° 24'W	33° 53' N
Naâma	1166 m	00° 30 W	33° 27'N

(O.N.M., 2019)

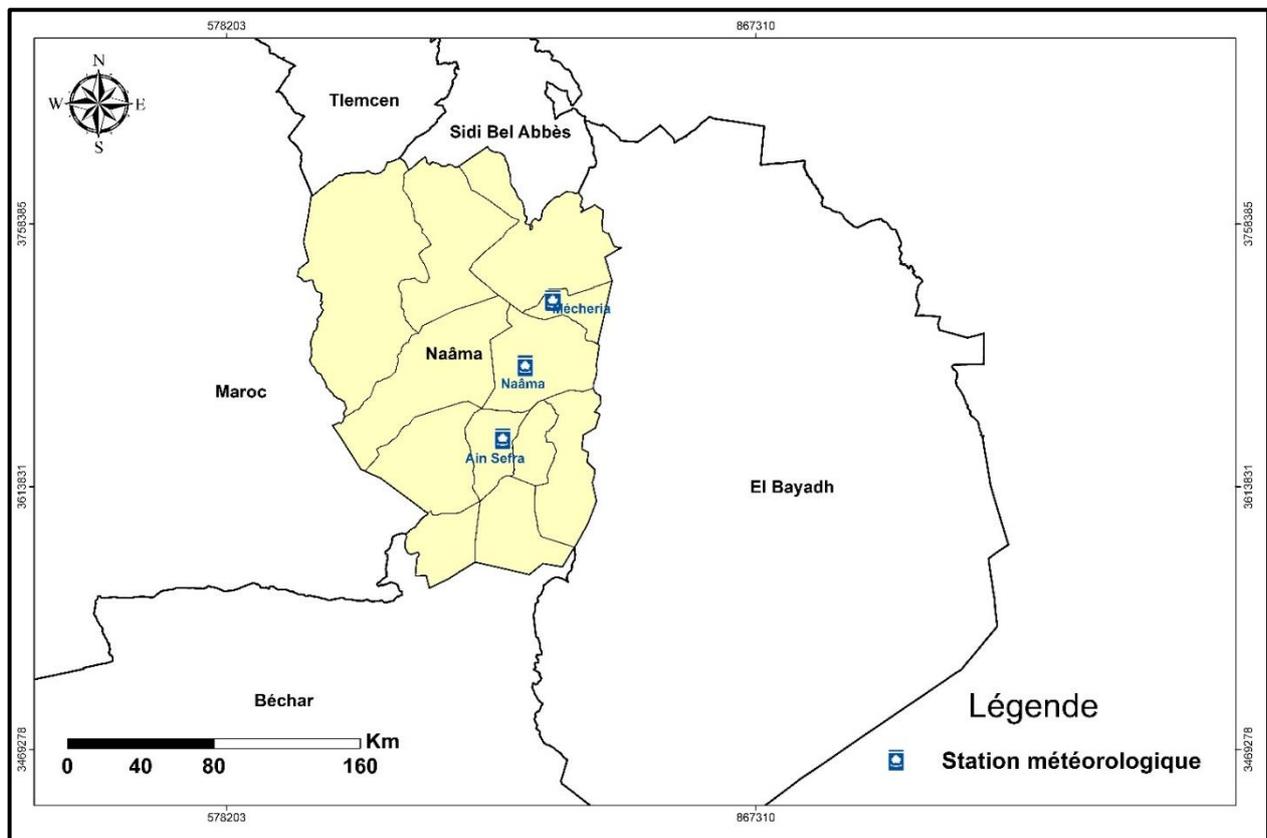


Figure 27. Carte de répartition de différentes stations météorologiques de la zone d'étude

Le choix de ces stations et de cette période se justifie par les raisons suivantes :

- ❖ Stations typiquement steppiques et opérationnelles (disponibilité des données) ;
- ❖ Différence de distribution des pluies durant les années 1990 et les années 2000 et 2007 ;
- ❖ Période de 30 ans nous semble suffisante pour expliquer l'impact climatique sur le couvert végétal et dégâts provoqués par les inondations le long de cette période.

Pour cette étude climatique et bioclimatique sera basée sur le traitement des données météorologiques anciennes automatisées de **Seltzer (1946)**, des échantillons prélevés sur 25 ans (1913-1938) ainsi que des séries de données récentes pour la période (1989-2018). La démarche proposée est axée sur la recherche de la variation de la saison sèche durant la période considérée et l'étude de l'irrégularité inter et intra annuelles pour établir leur impact sur les changements des paysages. L'une des méthodes la plus caractéristique de ce type d'étude est la méthode de **Bagnouls et Gaussen (1958)** basée sur la réalisation des courbes ombrothermiques qui permettent de fixer le début et la fin d'une période sèche aux intersections des courbes des valeurs moyennes mensuelles des températures et des précipitations surtout journalières.

II.1. Les précipitations

La pluviométrie est parmi les principales composantes de climat qui contribue à la désertification et à la dégradation des sols des zones arides. En effet, l'aridité est une conséquence d'un déficit de précipitation par rapport à l'évaporation durant une période plus au moins longue de l'année (**Arrignion, 1987**).

Les précipitations moyennes annuelles fluctuent selon une fourchette de 150 à 300mm par an, le nord des hautes plaines sud Oranaises est plus arrosé par rapport au sud.

On utilise généralement la pluviosité moyenne annuelle pour caractériser la quantité de pluie en un lieu donné. La pluviosité annuelle moyenne est en général utilisée pour caractériser la quantité de précipitations sur un endroit donné. La pluviométrie annuelle moyenne des deux périodes (1913-1938 et 1989-2018) considérées, établie à partir des séries de données fournies par les stations énumérées, est présentée dans le **tableau 14**.

II.1.1. Régime moyen mensuel des précipitations

Le régime des précipitations moyens mensuelles pour la région d'étude au cours des deux périodes en question sont présentés dans le **tableau 14**. Le maximum de précipitations enregistré sur cette zone était de 34,63 mm en octobre et un minimum de 4,64 mm en juillet.

En effet, le total des précipitations n'intéresse pas l'agropasteur, l'agriculteur et l'éleveur, mais bien leurs répartitions tout le long de l'année.

Tableau 14. Répartition des précipitations moyennes mensuelles en mm

Stations Mois	Ain Sefra		Naâma		Mécheria	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Jan	10	17,68	-	13,9	21	15
Fév	10	12,83	-	12,2	24	18,2
Mars	14	25,8	-	29,4	32	31,5
Avril	9	19,52	-	27,8	29	31,2
Mai	15	21,78	-	17,3	25	22,6
Juin	28	9,45	-	15,5	14	14,2
Juill	8	4,64	-	6,3	5	5,1
Aout	7	17,16	-	23,3	8	25,6
Sep	15	25,02	-	27,5	34	30,4
Oct	29	34,63	-	37,7	29	40,2
Nov	29	20,26	-	20,8	43	22,6
Dec	18	10,78	-	14	29	16,8
Annuel	192	219,55	-	245,7	293	273,4

P1: Période ancienne Soltzer (1913-1938) - **P2:** Période récente (1989-2018)

(O.N.M., 2019)

II.2. Les températures

Les températures moyennes annuelles ont une influence considérable sur l'aridité du climat. Dans les hautes plaines sud oranaises, les températures varient normalement dans l'année, élevée en saison estivale et basses en saison hivernale.

Tableau 15. Températures moyennes mensuelles (en °C)

Stations Mois	Ain Sefra		Naâma		Mécheria	
	P1	P2	P1	P2	P1	P2
Jan	6,05	7,6	-	7	6,25	7,1
Fév	8,35	9,5	-	8,2	7,6	8,7
Mars	10,7	13	-	11,5	10,7	11,9
Avril	15,65	16,4	-	15,5	14,3	15
Mai	19,4	21	-	20	17,7	19,9
Juin	24,05	26,3	-	25,2	23,2	24,9
Juill	28,4	30,1	-	29,3	27,7	29,1
Aout	27,2	29	-	28	27,45	28,2
Sep	23,7	24,4	-	23,3	22,6	23,2
Oct	17,05	18,8	-	18	16,4	17,9
Nov	10,6	12,4	-	11	10,1	11,6
Dec	6,9	8,8	-	7,6	6,65	8,1
Max	37,6	40,4	-	37,8	35,5	36,7
Min	-0,3	-3,2	-	0,8	1,5	-2,4

P1: Période ancienne Soltzer (1913-1938) - **P2:** Période récente (1989-2018)

(O.N.M., 2019)

II.3. Les différents paramètres climatiques

II.3.1. Calcul de l'indice d'aridité de De Martonne (1926)

Cet indice caractérise l'aridité du climat d'une région donnée en combinant la température et les précipitations. Selon **Olivier (2008)** est un indicateur quantitatif du degré du manque d'eau présente à un endroit donné. Il s'exprime par la formule de De Martonne comme suit :

$$I = P/T + 10$$

Où P : pluviosité moyenne annuelle en (mm) et

T : température moyenne annuelle en (°C)

Tableau 16. Classes de l'indice d'aridité de De Martonne

Indice d'aridité (I)	Type de climat
$I < 5$	Climat hyper-aride
$5 < I < 7,5$	Climat désertique
$7,5 < I < 10$	Climat steppique
$10 < I < 20$	Climat semi-aride
$20 < I < 30$	Climat tempéré

II.3.2. Calcul de la continentalité thermique

Nous allons calculer la continentalité thermique selon la méthode de **Debrach (1953)**, il est possible de distinguer quatre types des climats :

Tableau 17. Types de climats en fonction de l'amplitude thermique moyenne

Climats	Amplitude thermique moyenne (M-m) en °C
Le climat insulaire	$M-m < 15$
Le climat littoral	$15 < M-m < 25$
Le climat semi-continental	$25 < M-m < 35$
Le climat continental	$M-m > 35$

Dans lequel : **M** : températures moyennes des maximales du mois le plus chaud.

m : températures moyennes des minimales du mois le plus froid.

II.3.3. Variation saisonnière du régime pluviométrique

Il est préférable que les saisons soient placées dans l'ordre qui intéresse les agropasteurs de la région steppique (l'automne commence au premier septembre). De ce fait, les saisons se répartissent comme suit :

- Automne (A): Septembre, Octobre, Novembre.
- Hiver (H) : Décembre, Janvier, Février ;
- Printemps (P) : Mars, Avril, Mai ;
- Eté (E) : Juin, Juillet, Août ;

A cet effet, nous avons calculé pour les trois stations d'étude, la quantité des pluies pour les quatre saisons.

II.3.4. Synthèse climatique

La synthèse climatique est basée sur la recherche des formules qui permettent de ramener à une variable unique l'action de plusieurs indices climatiques. Tenant compte des variables telles que la pluviosité et les températures. Qui sont conçus pour permettre l'expression synthétique des conditions climatiques régionales. Nous allons employer pour cela le quotient de précipitation d'**Emberger (1933-1955)**, qui reste l'indice le plus efficace pour décrire le climat méditerranéen, ainsi que l'indice xérothermique de **Bagnouls et Gaussen (1953)** et de la continentalité thermique et pluviale.

II.3.4.1. Le Quotient pluviothermique d'Emberger (1955)

Afin de déterminer le type de climat qui a prévalu dans notre zone d'étude ces dernières années, nous utilisons le quotient pluviothermique d'**Emberger (1955)**. Ce quotient est généralement le plus utilisé dans les régions d'Afrique du Nord.

Il est défini par la formule suivante : $Q_2 = 2000 P / (M^2 - m^2)$

Avec : Q_2 : le quotient pluviothermique

P : Pluviosité moyenne annuelle en (mm)

M : moyenne du maximum thermique du mois le plus chaud en degrés Kelvin (°K).

m : moyenne du minimum thermique du mois le plus froid en degrés Kelvin (°K).

Avec le Q₂, on a pu positionner nos stations météo sur le Climagramme d'Emberger. Ce dernier a établi une classification des zones en fonction du bioclimat méditerranéen, allant des plus sèches aux plus humides, par la combinaison de données climatologiques et de celles relatives à la végétation.

II.3.4.2. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953)

Il permet la comparaison de l'évolution des valeurs de température et celles de précipitation. Il est établi en tenant compte de la formule de définition d'un mois sec, à savoir : $P \leq 2T$

Où : P : Précipitation en mm du mois

T : Température en °C du même mois.

La période sèche est déterminée par un graphique montrant les douze mois de l'année en abscisse, et en ordonnée les précipitations mensuelles moyennes exprimées en (mm) sur la droite et la température moyenne exprimée en °C sur la gauche.

Un mois est considéré comme étant sec quand les valeurs de la température (2T) sont supérieures ou égales aux valeurs des précipitations (P).

II.4 Résultats et discussions

II.4.1. La pluviométrie

La distribution de la moyenne annuelle des précipitations durant les deux périodes est présentée dans le **tableau 18**. Ce tableau permettra de faciliter les calculs, les illustrations graphiques et ainsi que les possibilités d'extrapolation suite à l'interprétation.

Tableau 18. Pluviométrie moyenne annuelle durant les deux périodes d'étude

Stations	Pluviométrie (mm)	
	P1 (1913-1938)	P2 (1989-2018)
Ain Sefra	192	219,55
Mécheria	293	273,4
Naâma	-	245,7

- Irrégularité des pluies

Il est important de noter que la pluviométrie globale dans notre zone d'étude reste irrégulière pour toutes les stations, soit une augmentation de la moyenne des précipitations de 192 mm [1913-1938] à 219,55 mm [1989-2018] pour la station Ain Sefra, mais une régression de 293 mm [1913-1938] à 273,4 mm [1989-2018] pour la station Mécheria. L'analyse des données pluviométriques montre un gradient pluviométrique décroissant du Nord au Sud (Mécheria, Naâma, Ain Sefra).

Mais ces moyennes calculées ne présentent pas réellement la réalité du terrain, elles sont utilisées uniquement pour dégager les différences périodiques (**Haddouche, 2009**).

L'irrégularité des pluies dans la station de Ain Sefra est grande ; pour la période [1989-2018], la moyenne annuelle fluctue entre un minimum de 87 mm (année 2017) et un maximum de 584,5 mm (année 1991).

Souvent l'analyse de la variabilité mensuelle climatique dans la zone d'étude se base sur la pluviométrie du mois de Mars pour prononcer s'il s'agit d'une année sèche ou humide, la pluie de ce mois est considérée comme de l'Or pur chez les agropasteurs (**Bensaid, 2006**). Toutefois, ce que nous avons constaté sur la période [1989-2018], où la pluviométrie de ce mois a reculé, cédant la première place au mois d'Octobre pour presque la totalité des années de cette période (**Fig. 28**)

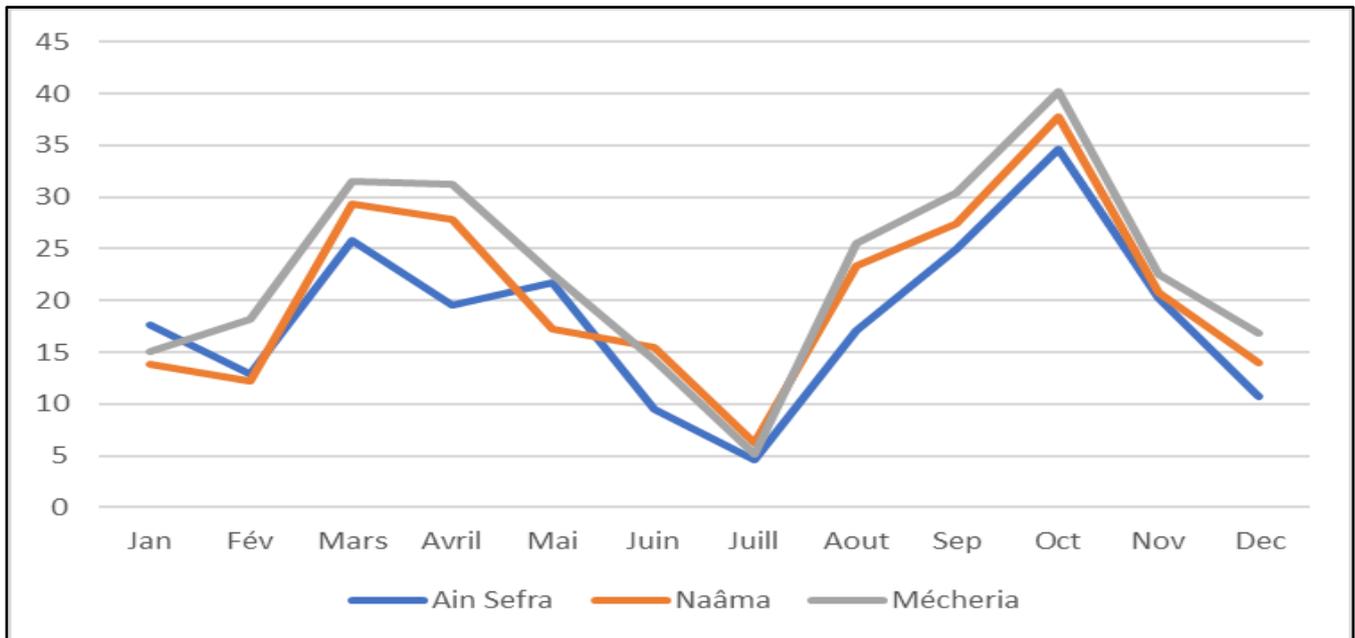


Figure 28. Précipitations moyennes mensuelles de trois stations météorologiques Ain Sefra, Naâma et Mécheria (période 1989-2018)

La station de Ain Sefra étant la seule localisée au sein du bassin versant étudié, ses données sont également examinées. Les valeurs des précipitations pour le mois de Mars fluctuent entre 1 et 231 mm (année 1991). Entre 1997 et 2008 (12 ans) ; les précipitations pour le même mois ont été trop faibles, sauf en 2003 et 2004, qui ont enregistré respectivement 24mm pour deux ans successifs. Il en va de même pour la période 2009-2018, où 56 mm et 43 mm ont été enregistrés respectivement en 2009 et 2012, le reste étant caractérisé par une faible pluviométrie moyenne (**Fig. 29**).

Pour le mois d'Octobre, on enregistre des pics de 59.1mm, 89.8mm, 61.1mm, 48mm, 39 mm, 171mm, 254mm, 35mm, 43 mm et 46 mm pour les années 1991,1994,1995, 2003, 2005, 2007,2008,2010, 2012 et 2015 respectivement (taux de précipitation dépassant largement la moyenne périodique pour ce mois) (**Fig. 29**).

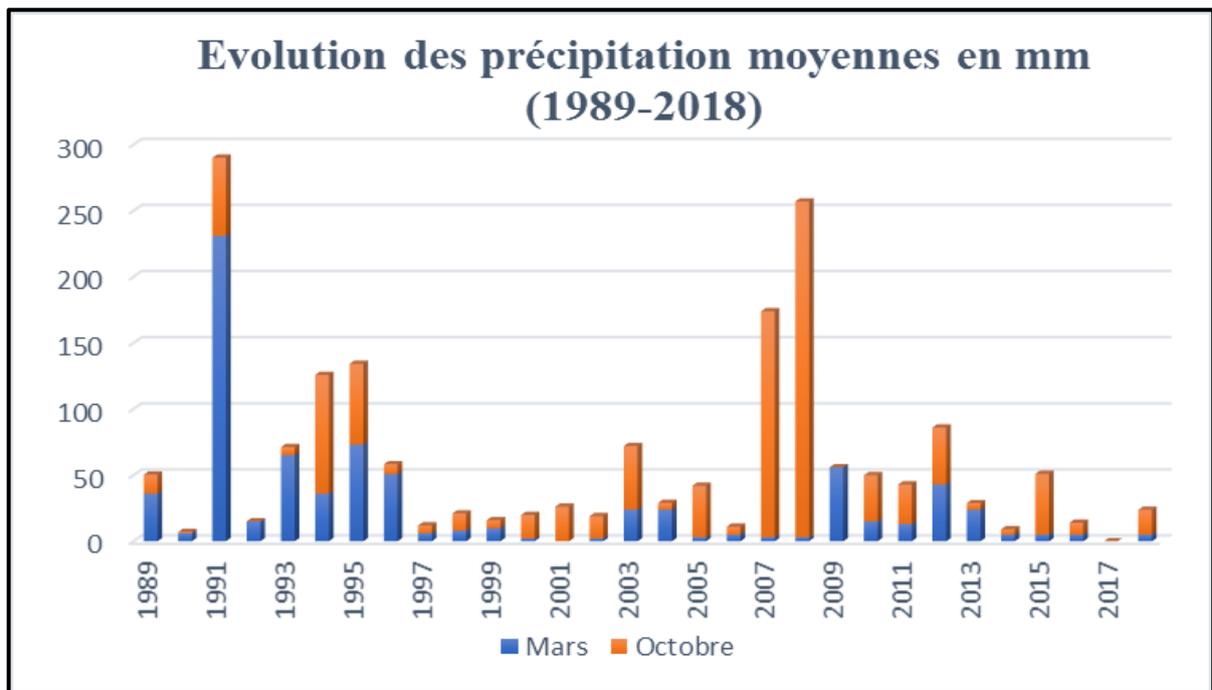


Figure 29. Évolution des précipitation moyennes du mois de Mars et d'Octobre en mm (1989-2018)

- Distribution annuelle des pluies

Après avoir examiné la courbe des précipitations annuelles de notre station (**Fig. 30**), il ressort quatre phases distinctes. La première phase concerne la période de 1989 à 1996, caractérisée par des précipitations élevées enregistrées qui dépassent la moyenne annuelle, sauf pour l'année 1992, où une valeur de 146,5 mm a été enregistrée en dessous de la moyenne annuelle. L'année 1991 est l'année la plus pluvieuse de la série avec 584,5 mm (soit plus du double du total de la moyenne annuelle : 219,55 mm) ; la plupart de ces précipitations ont été enregistrées seulement au mois de mars de cette même année, soit 231 mm.

La deuxième phase, de 1997 à 2006, au cours de laquelle on constate une diminution des précipitations annuelles par rapport à la moyenne. Cette phase est marquée par une plus grande période de sécheresse affectant cette région. Quant à la troisième phase, de 2007 à 2009, elle est marquée par une augmentation significative des valeurs des précipitations après une longue sécheresse. La dernière phase, de 2010 à 2018, est caractérisée par une faible pluviométrie.

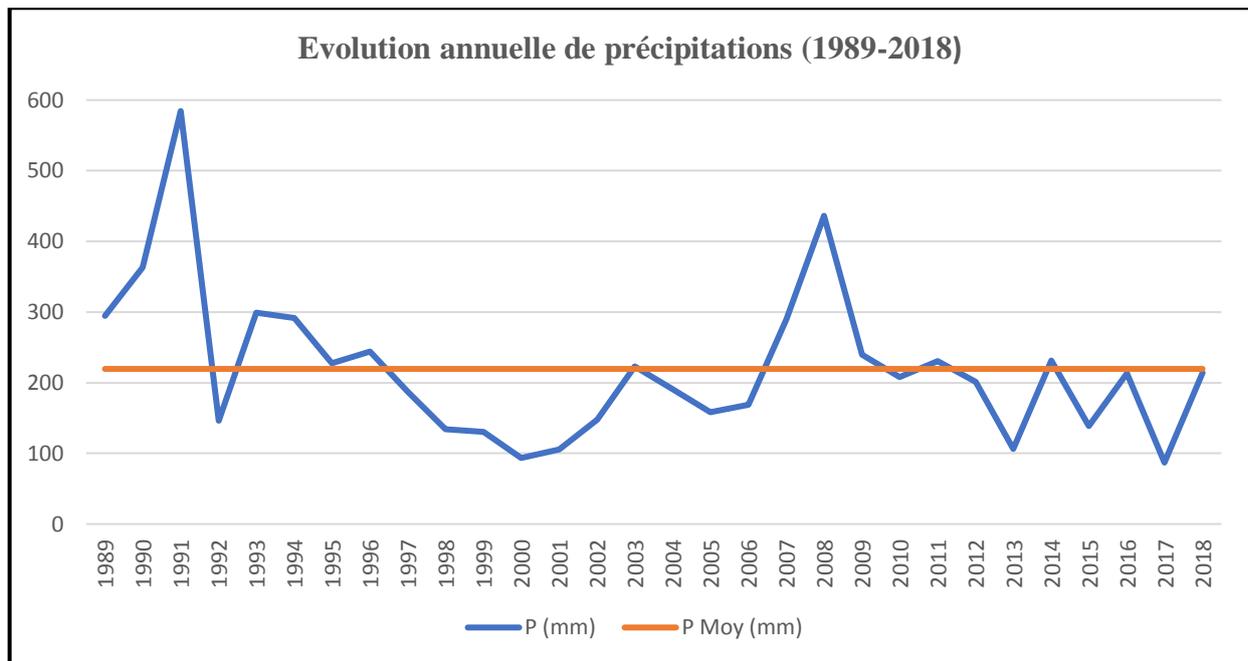


Figure 30. Évolution annuelle de précipitations (1989-2018)

II.4.2. Régime saisonnier

Le régime pluviométrique saisonnier estimé pour les trois stations de la zone d'étude au cours des deux périodes est présenté dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 19. Régimes pluviométriques saisonniers de l'ancienne période

Stations	P1 (1913-1938)				
	P	E	A	H	Régime
Ain Sefra	38	43	73	38	AEPH
Mécheria	86	27	106	74	APHE
Naâma	-	-	-	-	-

Tableau 20. Régimes pluviométriques saisonniers de période récente

Stations	P2 (1989-2018)				
	P	E	A	H	Régime
Ain Sefra	67,1	31,25	79,91	41,29	APHE
Mécheria	85,3	44,9	93,2	50	APHE
Naâma	74,5	45,1	86	40,1	APEH

À partir des tableaux 19 et 20, nous pouvons dégager les conclusions suivantes concernant les régimes saisonniers des deux périodes 1913-1938 et 1989-2018 :

On remarque que la saison la plus pluvieuse est l'automne pour les trois stations et durant les deux périodes, et la saison généralement la moins pluvieuse est celle de l'été. Ces pluies estivales prennent très fréquemment la forme des fortes averses qui causent souvent des dégâts considérables sur

les cultures ainsi que sur les infrastructures urbaines. Ces dommages sont causés par l'intensité des pluies et par la présence des sols nus favorisant le ruissellement.

Cependant, les pluies les plus utiles sont celles de la période printanière pour mûrir les céréales, entretenir les pâturages et augmenter les réserves des sols en eau pour affronter les moments et les jours les plus torrides de l'été (**Bensaid, 2006**). Le pourcentage moyen des pluies du printemps est assez faible, il est de 30.56% (67.1 mm) pour Ain Sefra, 30.32% pour Naâma (74.5 mm) et de 31.19% (85.3 mm) pour Mécheria. Donc, plus en se dirige vers le sud plus les pluies deviennent rares et précieuses pour les agropasteurs.

En général, on peut constater que les précipitations sont légèrement différentes, avec une dominance constante en automne ; Cela s'explique par l'abondance des pluies d'automne et surtout de mois d'octobre entre 1994, 2007 et 2008. Certaines variations montrant des changements dans la distribution saisonnière des précipitations comme le montre le tableau 21 :

Tableau 21. Régime saisonnier de trois stations durant les deux périodes

Stations	P1 (1913-1938)		P2 (1989-2018)
Ain Sefra	AEPH	<i>Devient</i>	APHE
Mécheria	APHE		APHE
Naâma	-		APEH

Enfin, le plus remarquable est le passage à un régime de type APHE pour les deux stations (Ain Sefra et Mécheria), en revanche il est de type APEH pour la station de Naâma et en raison du manque de données sur l'ancienne période, nous ne pouvons juger ce changement de régime.

En effet, le 20 octobre 1904, une inondation détruisit la quasi-totalité du village de Ain sefra ; lors de cette inondation, Isabelle EBERHARDT, 27 ans, cette jeune femme poète et écrivain décrit avec passion la région et cette convertie à la religion musulmane en 1900 mourut, de même en 1955 des pluies torrentielles accompagnées de grêle s'abattirent sur la ville de Ain sefra causant de nombreuses coupures dans le chemin de fer et d'autres dégâts à Moghrar où les eaux envahirent et emportèrent une partie du village dont l'école. Ces inondations ont été répétées dans la zone d'étude (la crue d'octobre 1977 avec un débit de 373m³/s, la crue de mai 1990 de 310m³/s, la crue d'Octobre 2007 de 222m³/s et la crue d'Octobre 2008 a enregistré plus de 750m³/s), les autorités de l'Etat ont lancé plusieurs projets pour réduire ces contraintes sur l'ensemble du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Le mois d'octobre demeure le mois le plus pluvieux par excellence, ce qui explique pourquoi l'automne reste le régime saisonnier dominant dans cette région.

L'étude de la variabilité saisonnière est indispensable, pour voir si la baisse ou la hausse de la pluviométrie est spécifique à une saison particulière ou à plusieurs saisons, cela permet de mieux visualiser la chronologie des totaux de pluies saisonnières dans le temps (**Benaradj, 2017**).

II.4.3. Températures

On sait que les températures annuelles moyennes ont une grande incidence sur l'aridité du climat. Dans les zones steppiques, les températures varient naturellement sur toute l'année, sont élevées en été et basses en hiver.

La région de Ain Sefra se caractérise par deux périodes différentes : La première étant plus froide et allant de décembre à février est marquée par des gelées occasionnelles ; la deuxième, plus importante, allant d'avril à la fin de l'été, se manifeste par une augmentation de la température et par conséquent une valeur d'évapotranspiration intense.

Le tableau 22 montre la variation des températures annuelles maximales et minimales et écarts thermiques de la zone d'étude entre les deux période (1913-1938 et 1989-2018).

Tableau 22. Écarts thermiques de la zone d'étude entre les deux période (1913-1938 et 1989-2018).

Stations	m°C		Ecart thermique	M °C		Ecart thermique
	P1 (1913-1938)	P2 (1989-2018)		P1 (1913-1938)	P2 (1989-2018)	
Ain Sefra	-0,3	-3,2	-2,9	37,6	40,4	2,8
Mécheria	1,5	-2,4	-3,9	35,5	36,7	1,2
Naâma	-	0,8	0,8	-	37,8	-

Après un examen comparatif des deux séries thermiques (1913-1938 et 1989-2018) de trois stations, nous apportons les informations suivantes :

- Le mois de janvier reste le mois le plus froid de l'année et le mois de juillet est le mois le plus chaud pour l'ensemble des trois stations. Donc, Le mois le plus chaud de l'année pour les deux séries thermiques est celui de Juillet avec une température moyenne maximale de 39 °C à Ain Sefra, 37, 8°C à Naâma et 36,1°C à Mécheria. En revanche, la période des basses températures allant de novembre à février est à l'origine des intensités de gelées hivernales, notamment celles des gelées blanches qui provoquent des dégâts sur les cultures dans la région. Pour deux séries thermiques (1913-1938 et 1989-2018) les températures moyennes minimales comprises entre 6,7°C (Ain Sefra), 7.14°C (Mécheria) et 6,1 à Naâma.
- Cette situation est répercutée au niveau mensuel où les températures fluctue entre - 0,3°C à 1,5°C induisant à l'échelle annuelle une augmentation moyenne de 0,5°C. Pour la station de Aïn Sefra la température a diminué de -0,3°C en période ancienne à -3,2°C en période récente avec une régression de -2,9 °C. et la même chose pour la station de Mécheria (1,5°C à -2,4°C) soit une régression de -3,9°C.
- La température dans la région est connue par une augmentation, avec des écarts fluctuant de +1,2°C à

+2,8°C pour les maxima et une régression de +0,8°C à -3,2°C pour les minima. Cette situation montre une régression des températures qui atteint en moyenne -2°C à l'échelle annuelle. En revanche, au niveau des maxima les écarts sont plus importants ce qui donne une valeur moyenne de +2°C.

II.4.4. Autres facteurs climatiques

Le climat est marqué dans son ensemble par une forte irrégularité non seulement d'une année à une autre mais également entre les différents mois.

II.4.4.1 Les vents

Dans les régions arides les vents ont joué et jouent encore un rôle primordial dans la dégradation de la végétation et la destruction des sols. Les vents du sud sont généralement secs et froids en hiver. Et deviennent très desséchants en été (**Halitim, 1988**).

Dans la région de Ain Sefra où le vent est l'agent principal de transport des particules de sable, les activités humaines ont accéléré le processus. Les abords des villages et des campements ont été déboisés pour la production de bois de cuisine, broutés et surpâturés par le bétail, calcinés par les feux de brousse utilisés pour favoriser la repousse et nettoyer les champs de culture. Toutes ces actions ont eu pour conséquence la dénudation des sols, leur transformation en poussière ou sable fin. Elles ont facilité le transport des masses de sable et de poussière à travers les glacis dénudés. Les steppes boisées se sont dégradées en steppes arborées puis arbustives, avant de devenir des steppes herbeuses que le bétail transforme rapidement en terres nues. La production primaire baisse et la survie des êtres vivants devient difficile (**Bouarfa, 2011**).

Le régime annuel des vents est illustré dans la figure suivante :

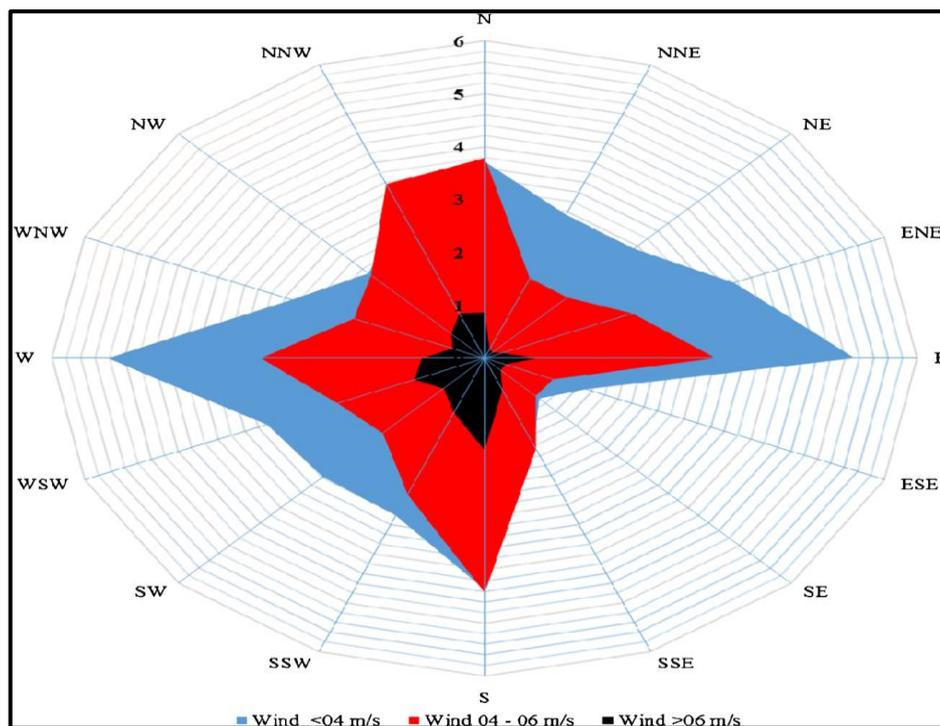


Figure 31. La rose du régime annuel des vents dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra (1985 – 2015) Source (**Bouarfa, 2019**).

Les régimes annuels des vents de la région de Ain Sefra démontrent qu'elle est soumise à deux secteurs opposés, Nord et Sud avec la dominance des directions Sud, Sud-Ouest et Nord. De Septembre à Février, les vents les plus fréquents sont de directions opposées Nord et Sud, il y'a une oscillation. Mais de Mars à Mai, ce sont les vents du Nord et de l'Ouest qui sont les plus efficaces. Par contre de Juin à Août, les vents les plus efficaces sont de directions Sud et Nord (**Bouarfa, 2019**).

II.4.4.2 La gelée

Les gelées se produisent pendant les mois d'hiver, à Ain Sefra l'occurrence maximale du phénomène est notée en décembre et janvier avec presque 14 jours de gel. Il est rare que les températures descendent en dessous de - 4°C, sauf en 2000 où une gelée blanche en janvier a endommagé les cultures.

II.4.4.3 Grêles et Neiges

Des chutes de grêle et de neige sont pratiquement présentes chaque année dans la région. Ils sont enregistrés entre décembre et février à raison de 12 à 17 jours/an. En décembre 1999, une tempête de neige de plus d'un mètre de hauteur a causé la mort de 04 personnes et de centaines de têtes de bétail.

II.4.4.4 L'évapotranspiration (ETP)

C'est la quantité d'eau rejetée à l'état de vapeur par l'évaporation directe au niveau du sol et par la transpiration des végétaux (**Slimi, 2008**).

La dominance de l'ETP engendre et/ou favorise le processus de la dégradation du sol et plus particulièrement l'ensablement des terres de cultures et les parcours steppiques (**Bensaid, 2006**).

Les données mensuelles de l'évapotranspiration potentielle (ETP) de la station de Ain Sefra indique que ETP de la station sont estimées à l'aide de la méthode de Thornthwaite qui donne une valeur moyenne annuelle de l'ordre de 135.03 mm. **Bouarfa (2019)** constate que l'ETP est sensiblement plus élevé que celui de la pluviométrie. Il est de 5 à 7 fois plus élevé que la valeur de la pluviométrie.

II.4.5. Les indices bioclimatiques

II.4.5.1. La Continentalité Thermique

La **continentalité** est l'un des facteurs fondamentaux qui définissent le climat, elle est l'effet climatique produit par la distance d'une région à une grande masse d'eau (mer, océan..).

Tableau 23. Continentalité thermique de trois stations d'étude

Stations	Période	M (°C)	m (°C)	M-m (°C)	Continentalité thermique
Ain Sefra	1913-1938	37,6	-0,3	37,9	Climat continental
	1989-2018	40,4	-3,2	43,6	Climat continental
Mécheria	1913-1938	35,5	1,5	34	Climat semi-continental
	1989-2018	36,7	-2,4	39,1	Climat continental
Naâma	1913-1938	-	-	-	-
	1989-2018	37,8	0,8	37	Climat continental

L'analyse des deux séries (1913-1938 et 1989-2018) relevées au niveau de la (Tab. 23), permet de constater que :

- Cette région est soumise à un régime thermique de type continental. De fait, les amplitudes thermiques avec une température moyenne annuelle de 34 à 40°C selon le gradient orographique Nord-Sud.
- La continentalité subsiste dans toutes les trois stations localisées au niveau de l'Atlas saharien ou la zone présaharienne et durant les deux périodes.
- La région se caractérise, dans ce contexte, avec une amplitude thermique journalière importante due au régime continental que subit l'ensemble du territoire qui est fortement influencé par l'altitude. Ce qui favorise le processus de dégradation des sols liés à la relaxation des roches les plus fragiles qui se manifeste par une érosion éolienne et hydrique.

II.4.5.2. L'indice d'aridité de De Martonne

Les résultats de l'indice d'aridité calculés pour les trois stations sur les deux périodes sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 24. L'indice d'aridité de De Martonne

Stations	Période	P (mm)	T moyenne (°C)	Indice de De Martonne	Type de climat
Ain Sefra	1913-1938	192	16,50	7,24	Climat désertique
	1989-2018	219,55	18,10	7,81	Climat steppique
Mécheria	1913-1938	293	15,88	11,32	Climat semi-aride
	1989-2018	273,4	17,13	10,07	Climat semi-aride
Naâma	1913-1938	-	-	-	-
	1989-2018	245,7	17,05	9,08	Climat steppique

Dans le tableau 24, on a effectué une analyse comparative de l'indice d'aridité de De-Martonne pour les trois stations sur les deux périodes. Nous pouvons constater que :

- La région d'étude est très marquée du Nord au Sud par une aridité croissante (Mécheria, Naâma et Ain Sefra). Cela est dû au phénomène de sécheresse engendré notamment par une baisse des précipitations et une hausse des températures surtout maximales sur les deux périodes (Ain Sefra du 37,6°C au 40,4°C et Mécheria du 35,5°C au 36,7°C).
- Les valeurs de l'indice d'aridité obtenues reflètent un climat steppique pour les stations de Ain Sefra et Naâma (7,81 et 9,08 respectivement), par contre pour la station de Mécheria qui est située au Nord de la région d'étude reflétant un climat semi-aride durant les deux périodes.

II.4.6. Synthèse climatique

II.4.6.1. Le quotient pluviothermique

Le tableau suivant présente les températures annuelles moyennes, les précipitations annuelles moyennes ainsi que le Quotient (Q_2) calculé dans les trois stations durant les deux périodes :

Tableau 25. Valeurs du quotient pluviométrique (Q_2)

Stations	Période	P (mm)	M (°C)	m (°C)	Q_2	Étage bioclimatique
Ain Sefra	1913-1938	192	37,6	-0,3	17,4	Aride Inférieur à Hiver Froid
	1989-2018	219,55	40,4	-3,2	17,3	Semi-Aride Inférieur à Hiver très Froid
Mécheria	1913-1938	293	35,5	1,5	29,6	Aride supérieur à Hiver Frais
	1989-2018	273,4	36,7	-2,4	24,0	Semi-Aride Inférieur à Hiver Froid
Naâma	1913-1938	-	-	-	-	-
	1989-2018	245,7	37,8	0,8	22,8	Aride moyen à Hiver Frais

À partir du climagramme, nous permet de déterminer les stades bioclimatiques de trois stations d'étude pour les deux périodes (**Fig. 32**).

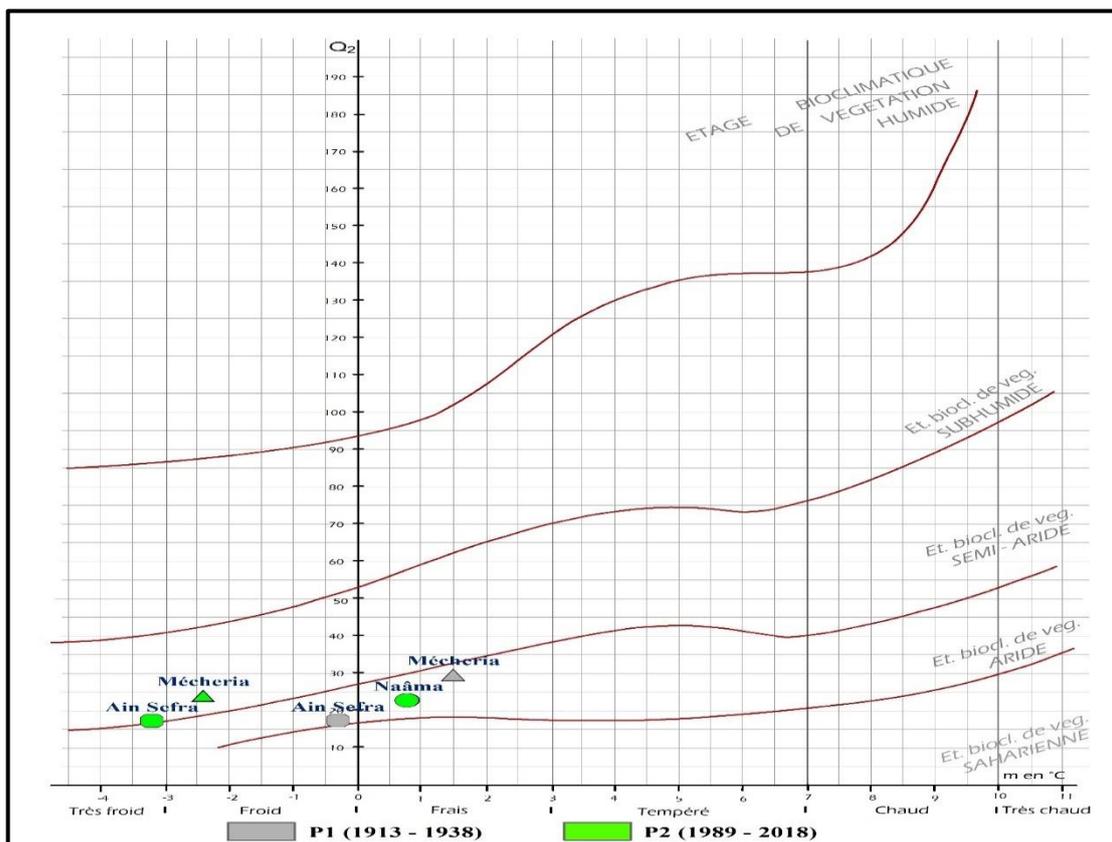


Figure 32. Climagramme pluviothermique d'Emberger de trois stations d'étude

En comparant le Climagramme des précipitations (**Tab. 25** et **Fig. 32**), on constate que :

- Qu'il y a une différence entre le quotient thermique des précipitations de l'ancienne période et les quotients des précipitations de la nouvelle période.
- Le changement du taux de Q_2 par rapport à l'ancienne période, qui se traduit par le passage du stade bioclimatique de l'aride au semi-aride inférieur (cas de Ain Sefra et Mécheria).
- Le passage de la variante froide et la variance fraîche (période ancienne) à la variante très froide et à la variance froide (période récente) pour les deux stations de Ain Sefra et Mécheria respectivement.
- Variation et déplacement des stades bioclimatiques des stations de la région d'étude. La formation végétale est également susceptible d'être modifiée par ce type de changement climatique et par conséquent la vulnérabilité des sols au phénomène d'érosion. Par exemple, la station de Ain Sefra passe de l'étage inférieur aride à hiver froid en période ancienne vers l'étage semi-aride inférieur à hiver très froid en période récente. La station de Mécheria passe de l'étage semi-aride inférieur à hiver frais à l'étage semi-aride inférieur à Hiver froid en période récente.

II.4.6.2. Diagrammes Ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen

A partir des analyses faites sur les différentes courbes ombrothermiques (**Fig. 33**) pour les trois stations comparatives sur les deux périodes (1913-1938 et 1989 -2018), on peut dégager les conclusions ci-après :

- Une période de sécheresse varie de 7 à 8 mois ou plus (de mars à octobre) pour les deux stations de la région (Naâma et Mécheria). Par contre, pour la station de Ain Sefra, elle présente une période de sécheresse assez prolongée qui varie de 10 à 11 mois de l'année, voire une période s'étalant presque toute l'année (Période 1913-1938) ; ceci dure depuis plusieurs années en raison de son climat aride.
- Une période humide est assez courte ; elle varie de 4 à 5 mois pour les stations dans l'espace semi-aride et aride supérieur (Naâma et Mécheria), de 1 mois pour les stations dans l'espace aride inférieur à nulle pour les stations dans le domaine désertique.

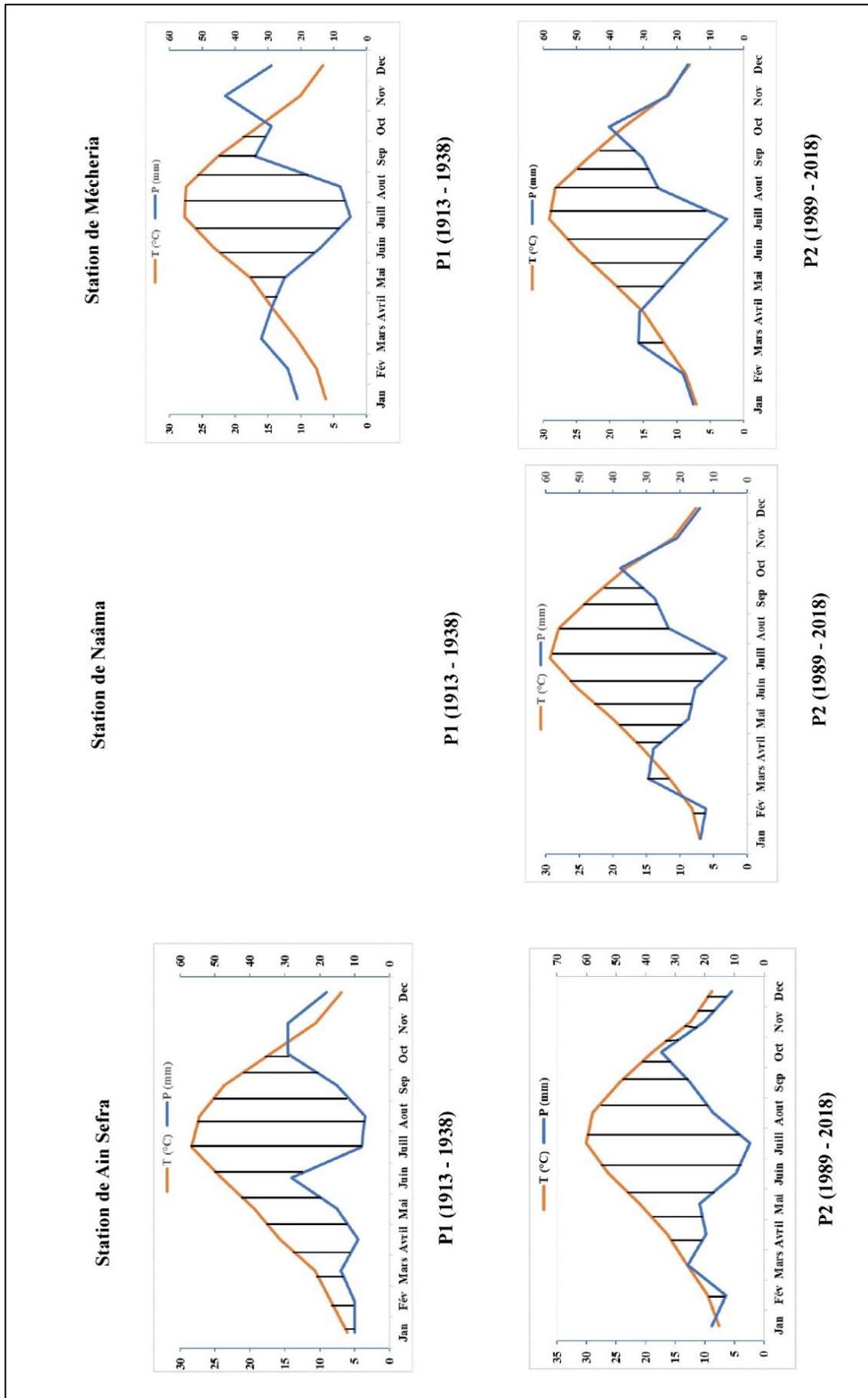


Figure 33. Variation des courbes de différents diagrammes ombrothermiques dans les trois stations

Conclusion

La zone d'étude bénéficie de conditions climatiques défavorables, mais favorisent l'érosion des sols. Elle reçoit en moyenne moins de 300 mm de précipitations par an dans les trois stations pendant les deux périodes d'étude, ce qui explique qu'elle appartienne au stade bioclimatique semi-aride à aride.

En effet, à partir de données climatiques issues de stations situées dans la zone d'étude, il a été possible d'observer l'évolution spatio-temporelle sur un gradient Nord-Sud qui est tributaire notamment aux phénomènes parfois irréversibles tels que l'aridité et la désertification.

Par ailleurs, une synthèse bioclimatique de différents paramètres climatiques selon la latitude et l'orographie de chaque station, permet de dégager les conclusions suivantes :

- Le type du climat est méditerranéen pour les trois stations météorologiques de la zone d'étude ; pluvieux en hiver et sec en été.
- Ce climat est caractérisé par l'individualisation de deux saisons thermiques et pluvieuses. La saison froide et humide s'étend de novembre à avril et la saison chaude et sèche couvre les six mois restants.
- Les précipitations sont faibles et irrégulières durant les deux périodes. Mais malgré la faible moyenne des précipitations enregistrées dans notre zone d'étude, les dommages causés par les averses n'ont pas été négligeables car des milliers de tonnes de terres ont été emportées par les inondations.
- Les fortes amplitudes thermiques sont le facteur essentiel qui accélère l'érosion et contribue à la dégradation du sol nu en le soumettant aux vents dominants provenant principalement du Nord-Ouest et du Sud-Ouest. Cette direction est celle dans laquelle le cordon dunaire est alimenté.



PARTIE III

Matériels et méthodes,
Occupation du sol, Evaluation
spatiale de l'érosion et analyse
des techniques de CES



CHAPITRE I

Matériels et Méthodes

Chapitre I

Matériels et Méthodes

Introduction

Au cours de cette thèse, plusieurs méthodes et instruments ont été utilisés. Certains d'entre eux ont été utilisés de manière systématique, tandis que d'autres sont spécifiques aux expériences auxquelles ils ont été appliqués. Les méthodes communes à plusieurs chapitres seront présentées ici, tandis que les plus spécifiques seront présentées dans une partie méthodologique propre aux chapitres correspondants.

Les principales démarches de cette étude peuvent être énoncés comme suit :

- La classification dirigée des images Landsat par la méthode de classification par maximum de vraisemblance a permis de produire des cartes d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra entre 2000 et 2019 ;
- Une classification de terrain de la zone d'étude en fonction de leur sensibilité à l'érosion hydrique à la suite de la production d'une carte des risques d'érosion hydrique des sols.
- Une analyse et évaluation d'une série de stratégies antiérosives traditionnelles et nouvelles qui sont employées à travers le secteur d'étude pour lutter contre l'érosion et la conservation de l'eau et des sols.

I.1. Données utilisées

Les données disponibles utilisées dans le cadre de ce travail sont :

I.1.1. Carte topographique (papier et scanné)

- La carte topographique de Feguig. Afrique du Nord à l'échelle de 1/250 000, Série P502 NI 30-16 : relative à la région du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.
- La carte topographique de limites administratives de la wilaya de Naâma à l'échelle de 1/500 000. (D.G.F., 2018).
- La carte géologique d'Algérie (2eme édition. Echelle :1/500 000e éditée par **Cornet et al., 1952**) ;
- La carte des sols d'Afrique 1/5 000 000e, feuille 6 (**D'hoore et Dutil, 1963**) ;
- La carte d'occupation des sols de la Wilaya de Naama à l'échelle de 1/50000 (source : **H.C.D.S., 2010**).
- Consultation de la base de données harmonisée des sols du monde (HWSD) de la **FAO (2012)** version 1.2, sur le site : <http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/>. Cette base de données consiste en un document SIG matriciel qui est associé à un en format Microsoft Access. Selon les données de la **FAO (2012)**, plus de 16 000 différentes

unités de cartographie des sols sont reconnues dans le HWSD, qui comprend 21600 lignes et 43200 colonnes, soit 221 millions de cellules de grille pour couvrir le monde entier, qui sont associées à des ensembles d'attributs harmonisés.

I.1.2. Données climatiques

Les données pluviométriques enregistrées dans les sept stations (Ain Sefra, Naâma, Mechria, Bechar, El Bayadh, El Kheiter et Saïda), situées à l'intérieur ou proche du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (les hauteurs de pluies mensuelles et annuelles) relatives à la période 1980-2019, ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) et (O.N.M).

I.1.3. Image Aster

Le GDEM ASTER (Global Digital Elevation Model) ou Image Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de 2018, est un Modèle Numérique d'Élévation qui couvre le monde entier, téléchargeable gratuitement à partir du site <http://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>, il appartient au programme Aster ("Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer") coproduit par le MITI et la NASA. Il a une résolution de 30 mètres. Qui a permis l'établissement du modèle numérique de terrain (MNT) et la limitation du bassin versant en question sous forme Shapfile. Elle va être exploitée pour ressortir plusieurs cartes d'inclinaison, des longueurs de la pente, de réseau hydrographique, des expositions des versants et autres.

- Image satellitaire acquise en 13 Mai 2000 de Landsat 7 ETM (Landsat Scène Identifier : LE07_L1TP_198037_20000513_20170211_01_T1) ;
- Image satellitaire acquise en 23 Mars 2019 de Landsat Oli 8 (Landsat Scène Identifier : LC08_L1TP_198037_20190323_20190403_01_T1).

Tableau 26. Les données utilisées dans la quantification des pertes en sols

<i>Type de données</i>	<i>Format</i>	<i>Description</i>	<i>Source</i>
Données de précipitations	Excel (*.xls)	Données mensuelles/ annuelles (1980/2019)	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)
Données topographiques (Shuttle Radar Topography Mission SRTM)	Raster (*.tif)	Résolution: 30 m 2018	United States Geological Survey (http://earthexplorer.usgs.gov/)
Image satellitaire Landsat 8	Raster (*.tif)	Résolution : 30 m date acquisition: (09/03/2018)	United States Geological Survey (http://earthexplorer.usgs.gov/)
Propriétés du sol	Raster + Excel file (* .tif + *.xls)	Harmonized world soil database	Harmonized World Soil Database (HWSD) version 1.2 (http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/)

I.2. Equipement du travail

Dans notre étude, nous avons été amenés à traiter les données issues de différentes sources, à l'aide de nombreux logiciels, à savoir :

I.2.1. Traitement des données pluviométriques

Pour le traitement de ce type de données, on utilise le logiciel « Excel » (sous Windows), ce logiciel est utilisé pour toutes les opérations mathématiques et statistiques.

I.2.2. Logiciels cartographiques

a. Logiciel SIG (ArcGis 10.3) : Arcgis est un logiciel SIG de ESRI (Environmental Systems Research Institute), il est développé pour faciliter la gestion et l'analyse des données spatiales afin de répondre à une problématique donnée. Les différents traitements effectués par ArcGis sont :

- La digitalisation des différentes couches d'information nécessaires à notre travail ;
- La structuration de différentes tables attributaires des couches établies ;
- La saisie des données sémantiques des objets géographiques de chaque couche d'information ;
- La conversion des couches d'information du format data Tab au format raster Grid.

Ce logiciel a été utilisé dans ce travail pour :

- La création, l'habillage et l'édition des cartes ;
- La détection de changement entre les différentes images satellitaires ;
- L'analyse de quelques données statistiques.

b. Google Earth

C'est un logiciel de Google qui permet de visualiser la terre à partir d'un mosaïquage de photographies aériennes ou satellitaires.

I.3. Méthodes

I.3.1. Evaluation des pertes en sol

Dans le cadre de cette étude, nous tenterons de montrer comment la pluie et le ruissellement dégradent les sols et provoquent leur disparition, comment l'apparition et l'évolution du phénomène d'érosion hydrique sont régies par d'autres conditions environnementales et, enfin, quelle est la quantité de sol perdue. Les résultats de cette étude contribueront à l'acquisition de données sur la dynamique de l'érosion hydrique dans les milieux arides le cas des Monts des Ksour (bassin versant de l'Oued Ain Sefra).

Le présent travail vise à montrer l'intérêt potentiel d'un outil tel que le Système d'Information Géographique (SIG) pour la gestion des bassins versants et à mettre en évidence la valeur de l'information géographique, par la réalisation d'une carte globale de la vulnérabilité du bassin versant aride de l'Oued Ain Sefra au phénomène érosif en prenant en compte les facteurs physico-climatiques responsables de l'érosion hydrique tels que la pente, la pluviométrie, la lithologie, l'exposition des pentes, l'occupation des sols, sur la base de l'analyse détaillée de la zone d'étude pour l'élaboration d'une base de données. En outre, on procédera à l'évaluation d'une série de stratégies traditionnelles et nouvelles de lutte contre l'érosion afin de déterminer leur efficacité et leur rôle dans la conservation de l'eau et des sols. A partir de cette étude, les informations nécessaires ou les recommandations judicieuses qui peuvent guider le choix des stratégies anti-érosion pour cette région seront proposées en vue de solutions adaptées de façon durable.

Pour cette étude, les pertes en sol ont été estimées sur la base la méthode (RUSLE) développée par **Renard *et al.*, (1997)**, qui est une version révisée de l'USLE modèle de **Wischmeier et Smith (1978)**, le modèle le plus utilisé au monde dans ce domaine. Ceci est réalisé à travers deux étapes :

- Cartographie pour l'établissement de la carte de dynamique de l'occupation du sol entre 2000 et 2019 au niveau du bassin versant par le traitement des images satellitaires Landsat suivi par une étude socioéconomique de la région d'étude.
- Intégration du modèle d'évaluation de l'érosion (RUSLE) dans un système d'information géographique, afin de localiser les zones prioritaires pour d'éventuelle intervention d'aménagement.

Le modèle empirique RUSLE réunit les facteurs ayant une incidence sur l'importance de l'érosion et se présente comme suit (Fig. 34) :

$$A = R * K * LS * C * P$$

Où :

A = Taux de perte en sol (t/ha/an),

R = Érosivité de la pluie,

K = Érodibilité du sol,

LS = Facteur topographique intégrant la pente et la longueur de pente,

C = Facteur de protection du sol par la couverture végétale,

P = Facteur exprimant la protection du sol par les pratiques agricoles.

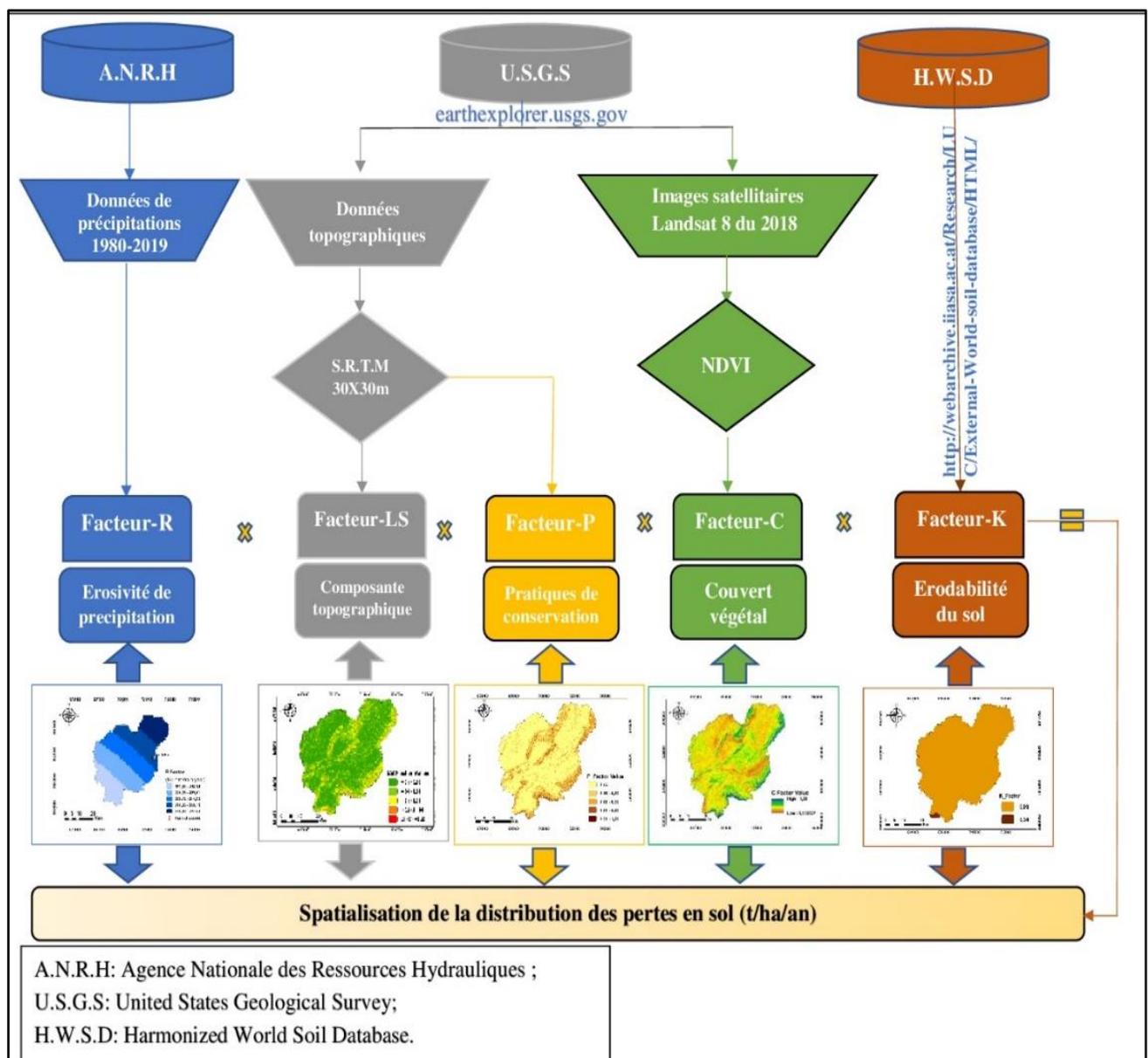


Figure 34. Organigramme de l'approche utilisée pour l'évaluation des pertes en sols

I.3.2. Dynamique spatiale de l'occupation du sol entre 2000 et 2019

La deuxième étape de notre approche méthodologique consiste à l'identification de la variation spatiale et temporelle de dégradation du sol dans la zone d'étude, a été réalisée à partir des données des images satellitaires acquises en 13 Mai 2000 de Landsat 7 ETM (Landsat Scène Identifier : LE07_L1TP_198037_20000513_20170211_01_T1) et en 23 Mars 2019 de Landsat Oli 8 (Landsat Scène Identifier : LC08_L1TP_198037_20190323_20190403_01_T1). Ces images sont téléchargeables gratuitement à partir du site <http://earthexplorer.usgs.gov>.

o La classification des images

La classification choisie est celle supervisée (classification dirigée). En se basant sur notre connaissance du terrain et sur la signature spectrale, on a défini pour chaque pixel de notre image sa classe d'appartenance. L'algorithme utilisé est celui du maximum de vraisemblance qui repose sur la règle de Bayes et permet de calculer pour chaque pixel sa probabilité d'appartenir à une classe plutôt qu'une autre. Le pixel est affecté à la classe dont la probabilité d'appartenance est la plus élevée (**Fig. 35**).

La démarche suivie se résume en trois étapes :

- ❖ L'interprétation visuelle des images satellitaires en se basant à la fois sur les caractéristiques des classes d'occupation du sol et notre connaissance du terrain ;
- ❖ La sélection d'un nombre de zone d'entraînement pour les classes voulues ;
- ❖ L'évaluation de la fiabilité de notre classification et le contrôle du résultat obtenu.

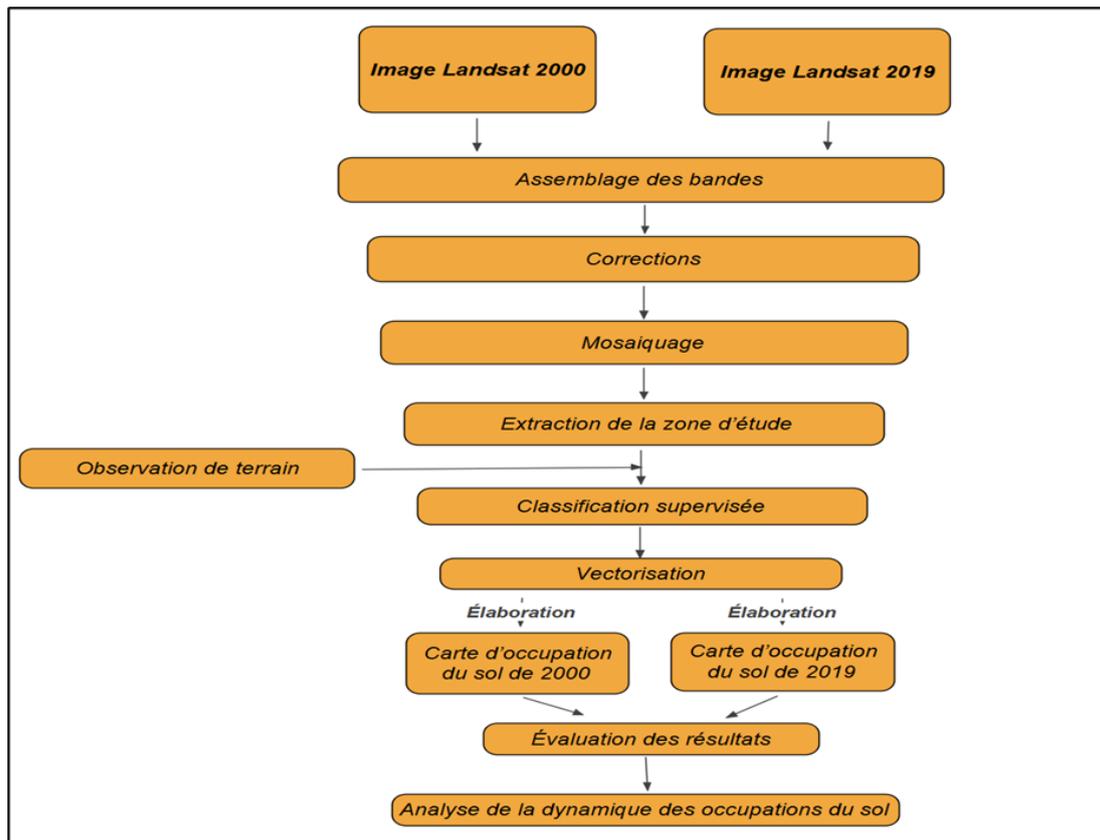


Figure 35. Démarche de spatialisation de l'occupation du sol entre 2000 et 2019

I.3.3. Analyse des techniques de conservation de l'eau et des sols

La pertinence pour les techniques antiérosives reste sujette à caution et appelle à une analyse et un développement des différents types de techniques "traditionnelles ou nouvelles" en vue d'une nouvelle démarche intégrant l'ensemble des facteurs de risque de même que les impératifs de la production agricole, les mesures de protection des infrastructures stratégiques et les enjeux environnementaux.

Ce travail visait à démontrer les principales causes de dégradation des sols par l'érosion hydrique dans un contexte d'aridité et à évaluer les dispositifs anti-érosion existants dans le bassin versant aride de l'Oued Ain Sefra, dans les trois sites de Sfisifa, Belguered et Ain Sefra.

Afin d'établir leur situation actuelle, de les spatialiser en utilisant les outils du Système d'Information Géographique et même leur comportement et de donner un avis sur leur efficacité en termes de conservation des eaux et des sols et d'amélioration de la productivité agricole.

L'approche méthodologique suivie pour la réalisation de ce travail est la suivante :

- L'identification et la classification des techniques de conservation de l'eau et des sols (traditionnelles et nouvelles) : l'identification est basée sur des explorations de terrain et ainsi que sur l'examen des enquêtes préétablies des questionnaires ;

- La spatialisation (localisation et répartition des aménagements dans l'espace) de quelques techniques de conservation de l'eau et des sols (mise en défens, ouvrages hydrauliques, aménagements biologiques et mécaniques) est réalisée par l'utilisation du GPS et du logiciel ArcGis.

- Analyse du comportement des aménagements et évaluation de leur efficacité

Ce choix est basé sur les critères suivants :

* La présence d'une grande variété de techniques traditionnelles et nouvelles ;

* La présence d'un grand investissement. Cette zone a fait l'objet de plusieurs aménagements antiérosifs depuis les années quatre-vingt.

Pour faire une synthèse de l'état des connaissances sur les techniques d'aménagements antiérosives concernant le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, nous avons consulté des thèses et des mémoires universitaires, des articles publiés dans des revues spécialisées et des rapports effectués par la direction de conservation des forêts, la direction de l'environnement, la direction de la programmation et du Suivi Budgétaires, le haut-commissariat au développement de la steppe et la direction des services agricoles de la wilaya de Naâma.

L'analyse et l'évaluation des aménagements sont effectuées sur la base de plusieurs critères :

- Conception et confection ;
- Stabilité, adaptabilité ;
- Rentabilité, durabilité et la reproductibilité ;
- Coût et efficacité ;
- Entretien et suivi des aménagements ;
- Impact des aménagements.

Cette étude a nécessité l'établissement d'un questionnaire (**Annexes. 1**) pour faciliter l'analyse et l'évaluation. Le questionnaire a été élaboré pour rassembler plus d'information concernant l'inventaire et l'analyse des aménagements réalisés dans bassin versant en question.

I.3.4. Questionnaire de l'enquête auprès de la population du bassin versant de l'Oued Ain Sefra sur les activités socioéconomiques et la conservation de l'eau et des sols dans cette zone aride :

L'enquête conduite auprès de la population locale a pour but de réaliser un sondage d'opinion adapté au contexte de notre recherche. Le dépouillement de près de 80 fiches a permis d'extraire un certain nombre de données à propos de l'occupation du sol et la perception des risques de l'érosion du sol par la population du bassin.

I.3.4.1. Objectifs du questionnaire

Il est destiné à apporter des renseignements concernant la connaissance de la population locale au sujet de risque d'érosion du sol et la manière de lutter contre ce fléau par les techniques antiérosives développés localement par l'état ou les paysans.

I.3.4.2. Une enquête auprès des nomades

Cette enquête, menée sous forme d'entretiens semi directifs, révèle comment les habitants (les éleveurs /pasteurs) perçoivent le risque naturel. Elle fournit aussi des indications sur la gravité érosive du sol ainsi que les stratégies de la conservation de l'eau et du sol pour minimiser l'agressivité de ce phénomène.

I.3.4.3. Une enquête auprès des sédentaires

Cette enquête est réalisée auprès de chaque catégorie sédentaires : ingénieur, technicien, enseignant, mouvement associatif, agriculteurs,) Menée à l'aide de questionnaires standardisés, elle évalue la connaissance qu'ont les sédentaires en ce qui concerne le risque érosif ainsi que les propositions à apporter pour lutter contre ce risque.

I.3.4.4 Méthode

- ❖ Le questionnaire (voir **annexe. 1**)
- ❖ **Choix des personnes enquêtées :**

L'enquête sur les nomades et sédentaires a été effectuée pendant automne de l'année 2017 jusqu'au fin 2018.

Le choix de la saison de l'automne coïncide avec le déclenchement des averses (les crues des Oueds) et ainsi que la plupart des travaux des sols (Emblavures, labours, le retour de la transhumance du Nord...).

80 personnes ont donc été choisies selon la distribution suivante :

- Nomades 50 ;
- Sédentaires 30.



CHAPITRE II

Occupation du sol et Aspects socio-économiques de la région d'étude

Chapitre II Occupation du sol et Aspects socio-économiques de la région d'étude

II.1. Occupation du sol

La steppe algérienne est constituée une vaste région aride, elle s'étend sur une superficie de 20 millions d'hectares dont 15 millions d'hectares sont à vocation pastorale. Les parcours steppiques n'offrent que des conditions extrêmes pour l'établissement et le maintien de la végétation rencontrée varie en fonction de conditions du milieu physique.

Malgré le faible taux de couverture, la végétation des steppes constitue une ressource naturelle de grande importance, notamment pour la protection des sols contre le phénomène d'érosion. Cette zone subit une dégradation continue qui se traduit par la réduction de cette couverture végétale, cette dégradation a été engendrée sous l'action combinée des facteurs de l'environnement physique et de ceux de l'environnement socioéconomique.

II.1.1 Ressources végétales

La végétation naturelle de la zone d'étude est caractérisée par une physionomie de steppe sauf dans les montagnes où subsistent les restes de forêts primitives abattues par l'homme à base de *Pinus halepensis* et *Juniperus phoenicea*. En dehors de ces espèces forestières, l'aspect de la steppe change avec le gradient pluviométrique et la nature du sol **(Bensaid, 2006)**.

La plupart des travaux de recherches réalisés dans la steppe concernant ont confirmé que le couvert végétal de cette région est principalement constitué de :

D'après **Djbaili (1984)**, la combinaison des facteurs pédoclimatiques et la répartition spatiale de la végétation fait ressortir trois types de steppes :

- La steppe graminéenne à base d'Alfa (*Stipa tenacissima*) et/ou de Sparte (*Lygeum spartum*) que nous trouvons dans les sols argileux à texture plus fine. Sur les sols sableux, nous trouvons la steppe à Drinn (*Aristida pungens*) ;
- La steppe à chamaephytes représentées par l'armoïse blanche (*Artemisia herba alba*) qui occupe les sols à texture fine.
- La steppe à halophytes ou crassuléscentes qui occupe les terrains salés. On y trouve *Atriplex halimus*, *Salsola vermiculata* et *Suaeda fruticosa*.

Et selon **Nedjraoui (2004)**, La végétation steppique est dominée par l'Alfa (*Stipa tenacissima*) qui occupe 4 millions d'hectares, suivie par le Chih (*Artemisia herba alba*) avec 3 millions d'hectares, puis le Sennagh (*Lygeum spartum*) et le Guettaf (*Atriplex halimus*) en association, avec respectivement 2 et 1 million d'hectares. Le reste est occupé par des

associations diverses (*Aristida pungens*, *Thymelaea microphylla*, *Retama raetam*, *Artemisia campestris*, *Arthrophytum scoparium* et *Peganum harmala*).

Les biotopes steppiques hébergent une flore riche à base des formations végétales steppiques diversifiées arbustive, arboré et herbacée comprenant des groupements à *Hammada scoparia*, à *Stipa tenacissima*, à *Artemisia herba-alba*, à *Lygeum spartum* et des formations préforestières (matorrals) composés par une strate arborescente claire de génévriers (*Juniperus oxycedrus*, *Juniperus phoenicea*) au niveau des djebels et versants des monts de l'atlas saharien morcelées par plusieurs Oueds, des affleurements rocheux, dépressions, dayas, thalwegs (Kaabeche, 2003).

La steppe sud Oranaise est dominée par les formations végétales suivantes selon Bensaïd (2006) : Steppe à alfa (*Stipa tenacissima*), Steppe à armoise blanche (*Artemisia herba Alba*), Steppe à sparte (*Lygeum spartum*), Steppe à halophytes et Steppe à psamophytes.

Selon les travaux de Bouarfa (2019), Les classes résultant des classifications d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en 2018 se répartissent comme suit : La forêt claire et Matorral : est principalement de *Pinus halepenses* -*Pistacia atlantica* et *Juniperus phoenicea*, et de *Ziziphus lotus* -*Retama raetam*, cette classe occupe environ 21183.31 hectares soit 7% de la surface du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, son aire de répartition s'étend sur les sommets de Djebel Aissa et Mourghad ou les altitudes dépassent les 1500 mètres avec un étage bioclimatique semi-aride basse potentiellement contraignant.

Selon le même auteur les parcours steppiques : reconnues par sa végétation basse à base d'alfa, d'armoise et de sparte, (Groupe gramineen : *Stipa tenacissima*, *Lygeum spartum* et *Aristida pungens*. Groupe chamaephyte : *Artemisia herba alba* et *Artemisia campestris*. Groupe crassulescent : Plantes halophiles – *Atriplex halimus*, -Salsolacées, Ect. ,Groupe nanophanerophyte : Chamaephyte et arbustes) , sont un milieu pastoral et d'élevage, ils sont trouvés à une altitude moyenne de 1200 m et sa pente varie de 1% à 3%.

Donc on peut conclure que notre région d'étude est essentiellement composée d'une strate basse de plantes herbacées assez variée d'espèces vivaces et éphémères. Les espèces dominent traditionnellement la flore, à savoir l'Alfa (*Stipa tenacissima* L.), l'armoise blanche (*Artemisia herba_alba* L.), Drinn (*Aristida pungens*), le sparte appelé aussi Sennagh (*Lygeum spartum*) et Remth (*Hammada scoparia*) ainsi qu'une strate arborescente ligneuse claire de *Pinus halepenses*, *Pistacia atlantica*, *Juniperus phoenicea*, *Ziziphus lotus* et *Retama raetam*.

II.1.2 Dynamique spatiale de l'occupation du sol entre 2000 et 2019

Pour passer d'un document complexe (image) à un document simple (carte), il est nécessaire de réaliser une classification d'images. Cette méthode est utilisée pour identifier et

classifier numériquement les pixels d'une image. Cette opération est basée sur les caractéristiques statistiques de la valeur de l'intensité du pixel. Selon **Caloz et al., (1993)** citer par **Atte Cyrille (2020)**, la classification est une opération qui regroupe, au mieux de leurs ressemblances spectrales, les divers objets du sol. Il existe une grande variété d'approches pour réaliser une classification automatique, comme par exemple la classification supervisée et la classification non supervisée.

La classification supervisée nécessite l'intervention de l'expert qui doit définir les classes qu'il juge importantes et caractérise le milieu à étudier. L'occupation du sol dans un milieu varie d'une année à l'autre du fait de divers changements dus à des causes (incendies, coupes, urbanisation...). Il est indispensable de se rendre directement sur le terrain pour des missions de vérification des échantillons d'apprentissage sélectionnés. Des polygones d'entraînements sont définis sur l'image pour calculer les statistiques des bandes spectrales (**Atte Cyrille, 2020**).

La classification dirigée des images Landsat par la méthode de classification par maximum de vraisemblance a permis de produire des cartes d'occupation du sol du bassin versant de l'Oued Ain Sefra. La validation de la carte de la végétation 2019 de la région de Ain Sefra a été faite par l'analyse de la matrice de confusion, qui a été élaborée à partir plusieurs parcelles dites parcelles de contrôles. Il s'agit de parcelles visitées sur le terrain et n'ayant pas servi d'entraînement. Ce traitement a été finalisé par une visite de terrain post classification (**Fig. 36**). Après avoir établi la légende des parcelles d'entraînements, la classification supervisée peut commencer en appliquant l'algorithme du maximum de vraisemblance.

L'identification de la variation spatiale et temporelle de dégradation du sol dans la zone d'étude, a été réalisée à partir des données d'image satellitaire acquise en 13 Mai 2000 de Landsat 7 ETM (Landsat Scène Identifier : LE07_L1TP_198037_20000513_20170211_01_T1) et en 23 Mars 2019 de Landsat Oli 8 (Landsat Scène Identifier : LC08_L1TP_198037_20190323_20190403_01_T1). Ces images sont téléchargeables gratuitement à partir du site <http://earthexplorer.usgs.gov>. En outre, une autre image satellitaire Aster GDEM (Global Digital Elevation Model) a été utilisée pour couvrir la zone d'étude (bassin versant sous formes Shapefile). Et à l'aide des connaissances sur le terrain et au biais du levé des points GPS. Les données acquises sont traitées et analysées par le logiciel de traitement d'image ArcGis 10.3, ces images ont été géoréférencées selon le système de projection UTM-WGS 1984 zone 30.

La méthode adoptée pour évaluer la dynamique d'occupation des sols a combiné les techniques de traitements d'images satellitaires, les visites et observations de terrain.

Pour étudier l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra et par la suite créer une carte de sensibilité à l'érosion (Chapitre : évaluation spatiale de l'érosion hydrique), nous avons adopté une méthodologie (**Fig. 36**) qui s'appuie sur la classification supervisée après prétraitements des images satellitaires.

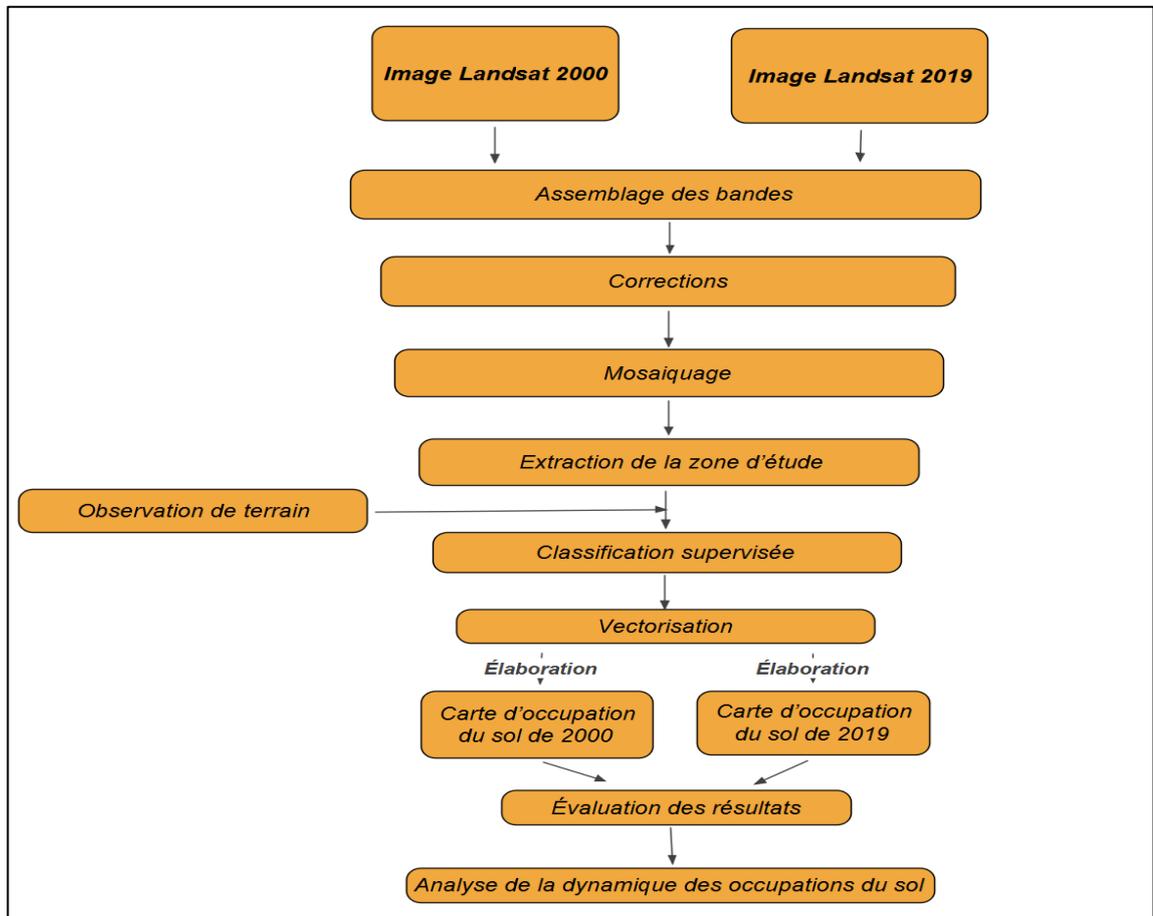


Figure 36. Schéma méthodologique pour la réalisation des cartes d'occupation du sol.

L'analyse des images de Landsat par télédétection spatiale nous permet d'identifier plusieurs classes d'occupation du sol. Les résultats de cette validation dans le (**Tab. 27**).

Tableau 27. L'occupation du sol en % du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (2000 et 2019)

<i>Classes</i>	<i>Occupation du sol en (%)2000</i>	<i>Occupation du sol en (%)2019</i>
<i>Forêts</i>	12,54	10,14
<i>Agglomération</i>	1,97	3,68
<i>Edifices sableux</i>	2,20	3,95
<i>Agriculture</i>	1,40	7,01
<i>Matorral et Affleurements rocheux</i>	25,90	18,24
<i>Parcours dégradés</i>	19,95	18,86
<i>Dayas, Oueds et retenues</i>	3,07	5,58
<i>Groupe ment à Alfa (Stipa tenacissima)</i>	9,06	6,27
<i>Groupe ment à Rétam (Retama retam)</i>	11,80	11,27
<i>Groupe ment à Remth (Hamada scoparium)</i>	12,11	14,99
Total	100	100

Cette partie des résultats présente d'une part l'état de l'occupation du sol de chaque année pour 2000 et 2019 et d'autre part l'analyse qualitative et quantitative de la dynamique des occupations des sols. En comparant les composantes de deux années citées précédemment.

II.1.2.1 Etat de l'occupation du sol en 2000

Au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, l'occupation du sol en 2000 est dominée par les matorrals et les affleurements rocheux (**Fig. 37**). Les classes se répartissent comme suit :

- Les forêts occupent une superficie de 24208,10 hectares, soit 12,54% de la superficie totale du bassin versant ;
- Les matorrals et les affleurements rocheux couvrent la plus grande partie de la région et s'étalent sur une superficie de 50002,87 hectares, soit 25,90 % de la région d'étude ;
- Les édifices sableux s'étalent sur une superficie de 3965,27 hectares, soit 2,20 % de la région d'étude ;
- Les cultures dominées par la céréaliculture couvrent une superficie de 2697,85 hectares soit 1,40 % de la surface totale du bassin ;
- Les parcours dégradés ou les sols nus s'étalent sur une superficie de 38509,17 hectares, soit 19,95 % de la région d'étude ;
- Le groupement à Alfa (*Stipa tenacissima*) occupe une superficie de 17492,31hectares, soit 9,06% de la superficie totale du notre bassin versant ;
- Le groupement à Rétam (*Retama raetam*) couvre une superficie de 22776,76hectares, soit 11,80% de la superficie totale du bassin. Il est localisé particulièrement aux bords des Oueds et les accumulations sableuses.

- Le groupement à Remth (*Hammada scoparia*) est dominé la formation végétale de la région d'étude, occupe une superficie de 23377,57 hectares, soit 12,11% de la superficie totale du notre bassin versant ;
- Les dayas et les cours d'eau occupent près de 5921,03 hectares de terrain soit environ 3,07 % de la région d'étude ;
- Les agglomérations couvrent une superficie de 4099,07 hectares soit environ 1,97 % de la surface totale du bassin versant.

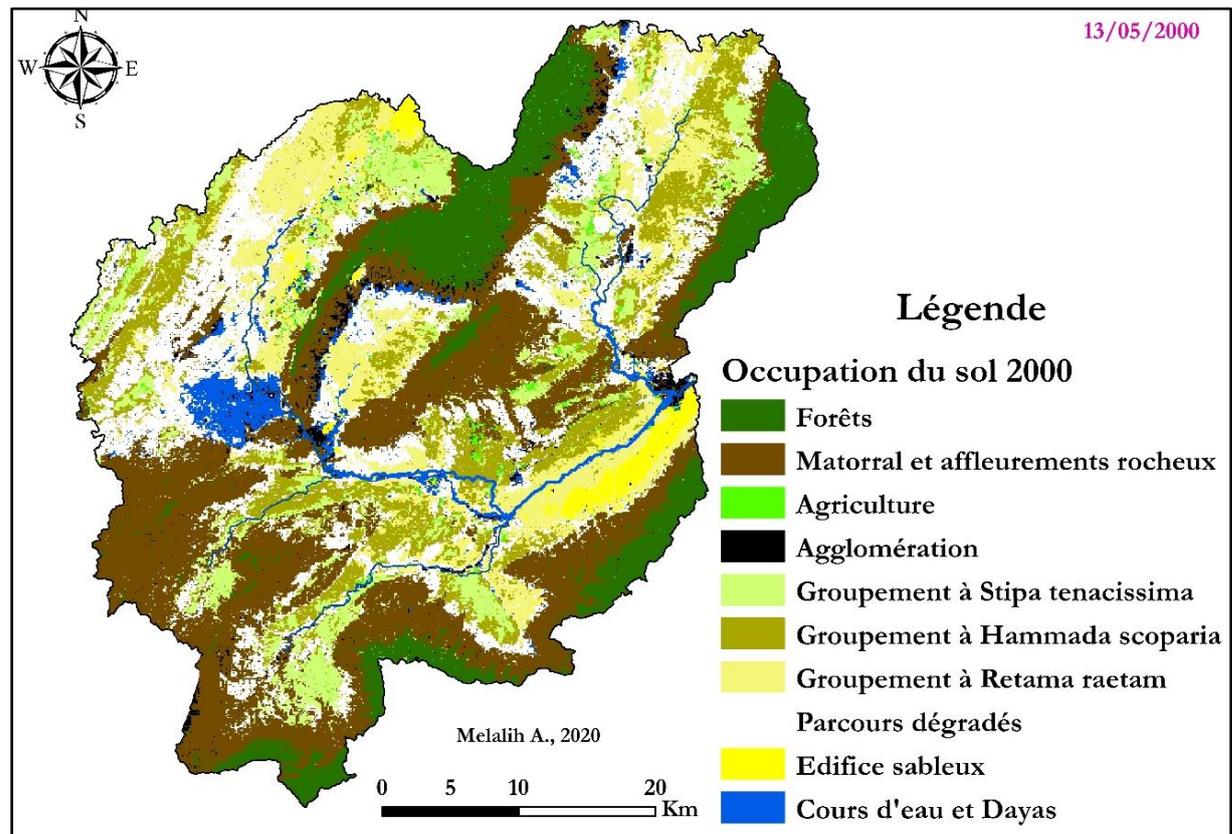


Figure 37. Carte d'occupation des sols du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Mai 2000)

II.1.2.2 Etat de l'occupation du sol en 2019

L'état de l'occupation du sol en 2019 (**Fig. 38**) montre une distribution relativement différente de celle de 2000, c'est-à-dire une dominance de la classe « parcours dégradés » avec des variations de superficies dans les autres classes. La répartition des classes se présente comme suit :

- Les forêts couvrent une superficie de 19303,91 hectares de superficie estimée à 10,14% de la superficie totale du bassin versant ;
- Les parcours dégradés dominent la répartition avec 35892,92 hectares, soit 18,86% de la région d'étude ;

- Les matorrals et les affleurements rocheux viennent à la deuxième place et s'étendent sur 18,24 hectares soit 18,24% de la totalité ;
- Les édifices sableux s'étalent sur une superficie de 7522,68 hectares et représentent 3,95% de la région d'étude ;
- Les cultures couvrent une superficie de 13345,57 hectares soit 7,01% de la surface totale du bassin ;
- Le groupement à Alfa (*Stipa tenacissima*) occupe une superficie de 11939,50 hectares, soit 6,27% de la superficie totale du notre bassin versant ;
- Le groupement à Rétam (*Retama raetam*) couvre une superficie de 21458,31hectares, soit 11,27% de la superficie totale du bassin.
- Le groupement à Remth (*Hammada scoparia*) est dominé toujours la formation végétale de la région d'étude, occupe une superficie de 28540,68 hectares, soit 14,99 % de la superficie totale du notre bassin versant ;
- Les cours d'eau et les retenues occupent près de 10619,46 hectares de terrain soit environ 5,58 % de la région d'étude ;
- Les habitats ou les agglomérations couvrent une superficie de 5097,04 hectares soit environ 3,68 % de la surface totale du bassin.

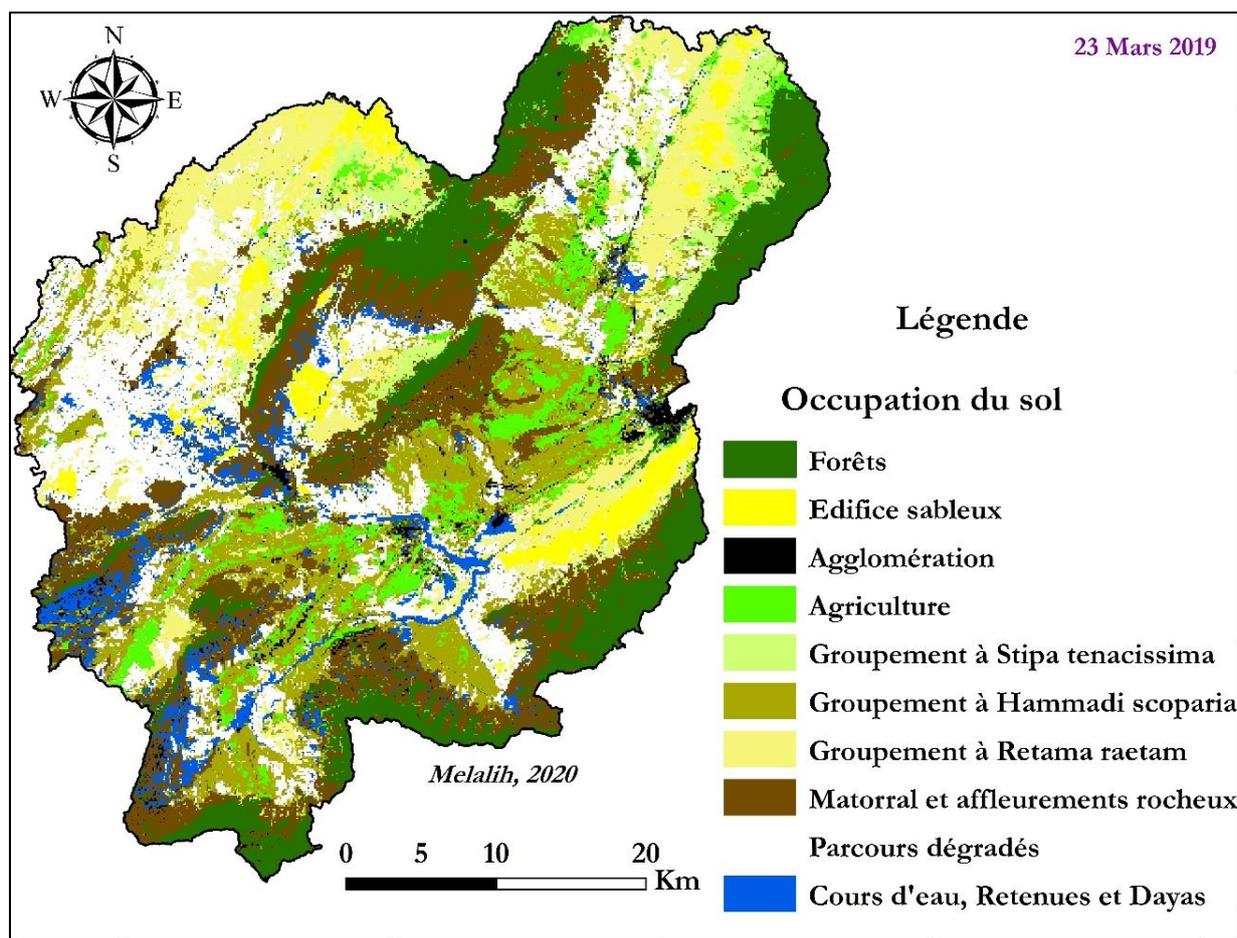


Figure 38. Carte d'occupation des sols du bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Mars 2019).

Pour fournir une représentation détaillée des changements de classe de l'occupation du sol, nous avons des points d'illustration détaillés dans le tableau suivant :

Tableau 28. Évolution de l'occupation du sol en fonction du temps dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra

Classes d'occupation du sol	Superficies des classes (ha)		% de variation (2000-2019)	% Variation de superficie (2000-2019)
	2000	2019		
Forets	24208,10	19303,91	-2,40	-4904,19
Edifice sableux	3965,27	7522,68	1,90	3557,41
Agglomération	4099,07	5097,04	1,56	997,97
Agriculture	2697,85	13345,57	5,61	10647,72
Groupement à Alfa	17492,31	11939,50	-2,79	-5552,81
Groupement à Remth	23377,57	28540,68	2,88	5163,11
Groupement à Rétam	22776,76	21458,31	-0,53	-1318,45
Matorral et affleurements rocheux	50002,87	34724,78	-7,66	-15278,09
Parcours dégradés	38509,17	35892,92	-1,09	-2616,24
Cours d'eau, Retenues et dayas	5921,03	10619,46	2,51	4698,43

La **figure 39** permet de mettre en évidence la distribution spatiale des différentes classes d'occupations des sols de 2000 à 2019, sur toute la région d'étude :

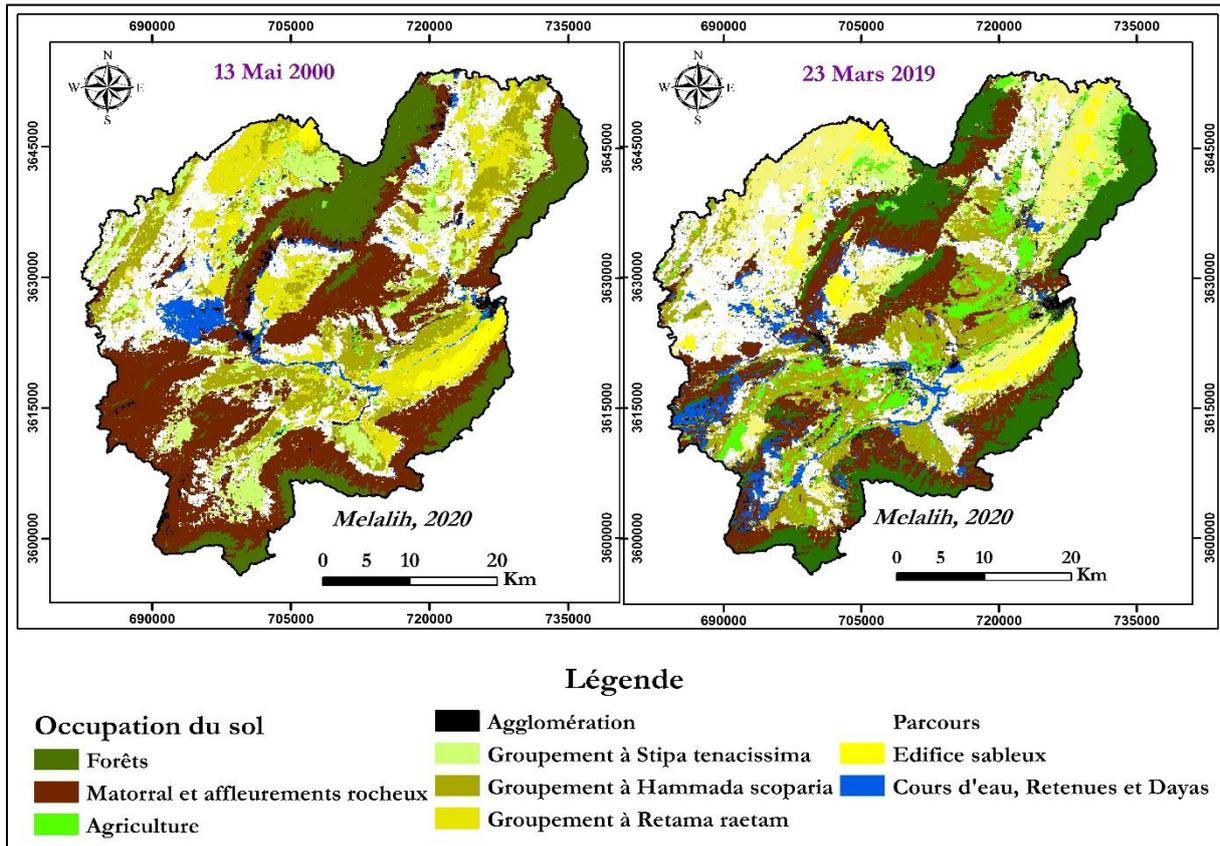


Figure 39. Évolution de l'occupation du sol dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra de 2000 à 2019

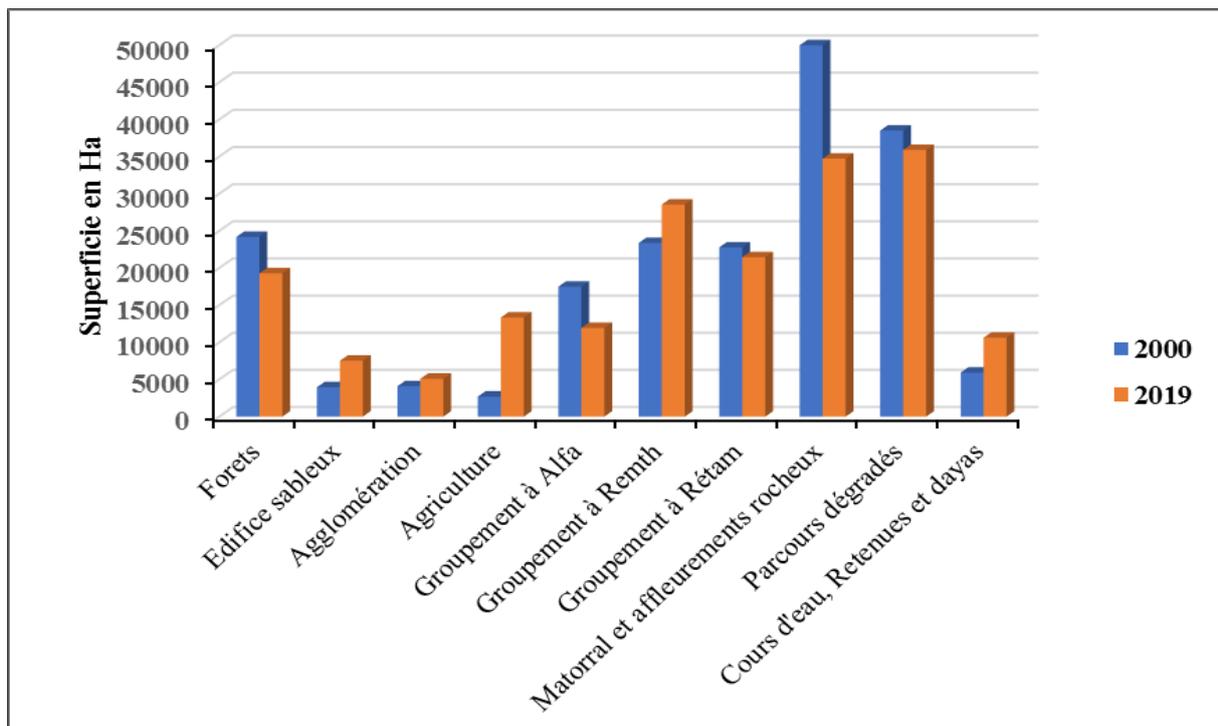


Figure 40. Répartition en superficie de différentes classes d'occupation du sol en 2000 et

L'analyse de la dynamique de l'occupation du sol de 2000 à 2019 (**Fig. 40**) met en évidence la dominance des classes « matorral et affleurements rocheux » et « parcours dégradés » par rapport aux autres classes d'occupation du sol. Au cours de cette période, les surfaces occupées par les forêts ont connu une baisse avec des réductions respectives de près de 24210 ha et 19300 ha. La première plus grande unité est constituée par les matorrals et les affleurements rocheux (2000) puis la deuxième pour l'année 2019. Ce sont essentiellement des massifs localisés dans les régions montagneuses de Ain Sefra (Monts des Ksour) et qui sont considérés en tant qu'anticlinal. Elle couvre respectivement entre 50002,87 et 34724,78 ha soit (25,9- 18,24%) de la superficie totale du bassin. Cette régression en superficie résulte de la baisse importante de la superficie du matorral. Ce type de végétation correspond à un stade avancé de dégradation de la forêt dû notamment au surpâturage intensif. En effet, dans le cas des affleurements rocheux, la différence n'est pas importante puisque les compositions des montagnes ne modifient plus souvent.

La dynamique sableuse dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra a connu une progression de 3965,27 à 7522,68 hectares soit un taux d'ensablement allant de 2,05 à 3,95%. Cette variation est principalement basée sur plusieurs facteurs, à savoir climatiques (sécheresse prolongée, vitesse du vent, etc.), anthropiques (défrichement par le labours étendu, surpâturage, etc.) et physiques (nature du sol, couverture végétation, relief, etc.). Les accumulations sableuses sont localisées généralement à la dépression qui se situe entre les Djebels (la région de Lemkheizen, Haraza et Ghernoug) et aussi au pied des Djebels comme le cas du pied Nord de Djebel Makther, de même pour Djebel Aissa la région de Megataa Dli, Mekaliss, Sefid et Boughalaba (**Fig. 39**).

L'agriculture au niveau de notre bassin versant porte sur la céréaliculture, le maraîchage et l'arboriculture et occupe une superficie a subi une hausse en passant de 2697,85 hectares soit 1,40% en 2000 pour avoir 13345,57 hectares soit 7,01% pour l'année 2019. Cette situation est dû à la mise en œuvre par les pouvoirs publics d'un Plan national de Développement agricole (PNDA) en 2000 a porté entre autres sur la mise en valeur des terres par concession incluant les zones steppiques sans prendre de précautions nécessaires. Selon **Khaldi (2014)**, Environ 150 000 hectares destinés à la culture ont été attribués par l'État aux agro-pasteurs. Les meilleures terres destinées aux cultures sont réservées au maraîchage et à l'arboriculture, dont le recours à l'irrigation est nécessaire, et celles qui le sont moins sont emblavées. Avec la transformation de la forme de l'élevage dans la steppe, devenant de plus en plus sédentaire, le pasteur est tenté par une agriculture d'appoint, non aléatoire, il « veut faire ses propres céréales, pâturer ses chaumes en été et constituer ses propres stocks de paille malgré les risques

encourus » (**Bourbouze, 2000**). Les défrichements de terres à cultiver précédant les labours détruisent les plantes pérennes, font souvent disparaître les meilleurs pacages (baisse de la biodiversité végétale) et favorisent l'érosion.

Concernant la superficie des parcours présente une régression au profil de l'agriculture elle passe de 38509,17 hectares en 2000 à 35892,92 hectares ici 2019. Par ailleurs, la multiplication des troupeaux dans ces régions entraîne le surpâturage, qui est à l'origine d'une catastrophe écologique généralisée, autrement dit la désertification progressive d'importantes zones dénudées soumises à l'érosion éolienne et hydrique ainsi qu'une agriculture sur des sols fragiles y contribue fortement.

La surface occupée par les autres classes d'occupation des sols, comme les groupements de végétation naturelle ; en particulier le groupement de Rétam est resté presque constant à environ 11% de la surface totale du bassin. En revanche, le groupement d'Alfa a connu une régression de sa surface de 17492,31 ha à 11939,50 ha en 2019. En revanche, le groupe du Remth a connu une augmentation de sa superficie sur la même période, passant de près de 23377,57 ha ou 12,11 % à 28540,68 ha ou 15 %. Cette situation est justifiée par une mutation des parcours de la région du parcours à l'Alfa vers des parcours à Remth qui sont moins appétissants que l'Alfa.

Les surfaces occupées par les cours d'eau, les dayas et les retenues ou lacs ont connu une évolution importante, soit près du double du taux d'occupation, qui est passé de 3,07 % à 5,58 %. Cela se reflète dans le nombre de réservoirs installés dans notre région d'étude depuis 2003 (voir détails dans le dernier chapitre) et aussi dans le sapement des berges des oueds tels que Sfissifa et El Breidj.

Enfin, au niveau de l'habitat, l'on constate que les surfaces occupées ont subi une augmentation générale continue de 2000 à 2019. Cet accroissement des superficies s'évalue à 3,68 %, soit un gain de plus 5097 ha. Cela s'explique par un taux de sédentarisation qui imite ces régions steppiques.

II.1.3 L'indice de Kappa et Matrix de confusions de la classification superposée

Les résultats sont donnés sous la forme d'une matrice dite de confusion qui comprend deux indices qui seront retenus pour la validation finale et évaluer la performance de cette classification :

- **La précision globale** : Elle est égale au nombre total de pixels correctement classés (diagonale de la matrice de confusion) divisé par le nombre total de pixels audités (**Singh, 1986**) (**Tab. 29**).

- **Le coefficient Kappa** : Il indique comment les données à classer correspondent aux données de référence. C'est une mesure fiable dans l'évaluation des classifications thématiques car elle examine tous les éléments de la matrice de confusion et prend en compte à la fois les erreurs d'omissions et les erreurs de commissions (**Rosenfiel et Filtzpatrick-lins, 1986**) (**Tab. 29**).

Tableau 29. L'indice de Kappa et Matrix de confusions de l'occupation du sol

Signatures Spectrales	Classes thématiques									
	Forêts	Edifice sableux	Agglomération	Agriculture	Groupement à Alfa	Groupement à Remth	Groupement à Rétam	Matorral et affleurements rocheux	Parcours dégradés	Cours d'eau, Retenues et dayas
Forêts	1077	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Edifice sableux	0	546	1	3	0	0	0	1	0	0
Agglomération	0	0	1083	0	0	0	0	0	0	0
Agriculture	4	0	0	1181	0	0	0	0	23	1
Groupement à Alfa	0	0	3	0	2259	0	5	7	0	0
Groupement à Remth	2	4	0	0	0	2744	0	0	0	0
Groupement à Rétam	0	0	0	0	0	5	1817	0	0	0
Matorral et affleurements rocheux	21	0	0	0	0	11	0	2016	1	0
Parcours dégradés	2	3	0	0	0	14	12	0	3637	0
Cours d'eau, Retenues et dayas	0	0	0	1	0	0	0	0	0	997
Total classe	1106	554	1087	1185	2259	2774	1834	2024	3661	998
Année 2000	Kappa Coefficient = 0,9176 Précision Globale = (17357/17795) *100 = 97,53									
Année 2019	Kappa Coefficient = 0,9012 Précision Globale = (22234/23231) *100 = 95,70									

L'analyse de ce tableau montre que des confusions se sont produites d'une part entre l'agriculture et les parcours dégradés (23%), Une confusion importante s'est produite entre les matorrals / l'affleurements rocheux et les forêts (21%) d'une part et le groupement à remth d'autre part (11%). Entre les parcours dégradés et le groupement à Remth (14%) ainsi que le groupement à Rétam (12%).

Lorsque le coefficient Kappa dépasse 0,8 (80%), la classification est conventionnellement considérée comme pertinente (**Landis et Koch, 1977**). En ce qui concerne notre cas et pour les deux classifications (2000 et 2019) ont constaté que ce coefficient avait

dépassé 0,8 (2000 : 0,92 – 2019 : 0,90). Ce qui a nous amené d'affirmer et de valider nos résultats de classification.

II.1.4. Etat de recouvrement du tapis végétal

La dégradation du milieu steppique est en général due essentiellement à une surexploitation des ressources naturelles (végétation, sol et eau) à travers le surpâturage par la réduction du couvert végétal et le tassement de la surface du sol, réduit l'infiltration de la pluie et augmente les risques de ruissellement, mais également au défrichement pratiqué au profit de cultures céréalières à faible rentabilité et ce sur des milliers d'hectares destinés auparavant au pâturage, réduit plus encore le couvert végétal pendant le début de la saison des pluies, modifie la structure, la perméabilité et la résistance des sols à l'érosivité des pluies.

Par sa position au cœur d'un écosystème fragile, la wilaya de Naâma se caractérise par un milieu steppique fortement soumis à trois fléaux :

- 1- Dégradation et régression du couvert végétal** : La disparition des parcours à sparte et à armoise et la nette régression de la nappe alfatière (800 000 Ha en 1976 et seulement 436 250 Ha en 2014) témoigne d'une dégradation alarmante du couvert végétal nécessitant des interventions d'urgence.
- 2- Risques d'ensablement** : Avec la surcharge des parcours et l'action anthropique caractérisée par le défrichement, le labour illicite et l'exploitation abusive du couvert végétal, aujourd'hui à une dégradation effrénée de cet écosystème sensible on assiste et à une désertification du milieu qui a atteint, par endroit, des formes irréversibles.
C'est ainsi que la wilaya se trouve aujourd'hui confrontée au phénomène de l'ensablement qui menace aussi bien les agglomérations et les infrastructures routières que les exploitations agricoles.
- 3- Risques de crues et d'érosion hydrique** : Les bassins versants et les Oueds engendrent, aux moments des crues, le ravinement des berges et affectent souvent le réseau routier, les infrastructures forestières et les agglomérations (**D.P.S.B, 2016**).

Pour faire face à ces fléaux, il est nécessaire de connaître le potentiel en formations végétales qui occupent les différentes surfaces de notre zone d'étude et de le préserver contre toutes les formations de dégradation.

II.1.4.1 Zone forestière et Alfatière

Les forêts primitives claires ou éventuellement de steppes arborées localisent surtout les sommets du massif montagneux des monts du ksour, et les nappes Alfatières qui colonisent les parcours, elles sont accompagnées par d'autres espèces selon les conditions stationnelles

de la zone. Le tableau ci-après présente la surface de différentes espèces forestières rencontrées sur le territoire de la wilaya de Naâma :

Tableau 30. Répartition de la superficie forestière (Ha) dans la wilaya de Naâma par espèce et par commune (2014) (Source : **D.P.S.B., 2016**).

Commune	Pin d'Alep	Cyprès	Eucalyptus	Tamarix	Rétame	Genévrier	Chêne vert	Autre (*)	Total
Naâma	310,5	98,5	70	2 045	10	250	150	2 395	5 329
Mecheria	1 863	37,6	55,5	220,8	0	2 900	100	3 890	9 069
Ain-Sefra	87	1,4	7,4	1 198,5	450	2 040	1 020	26 206	31 011
Tiout	100	0	0	0	0	480	240	7 680	8 500
Sfissifa	0	0	0	50	0	1 840	920	20 040	22 850
Moghrar	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asla	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Djenien-Bourezg	0	0	0	0	0	1 500	750	12 550	14 800
Ain-Ben-Khalil	60	0	0	2 078	228	3 800	2 500	29 872	38 538
Mekmen-Ben-Amar	83	14	8	390	0	0	0	0	495
Kasdir	31	30,5	24,5	118	0	0	0	18	222
El-Biodh	470	84	28	1 981	50	0	0	5 321	7 934
Total	3007	266	193,4	8 081,1	738	12 810	5 680	107 972	138 748

(*): Autre= Pistachier d'atlas, Tamarix Aphyllé, Romarin, Drinn, Sparth, A triplex, Alfa de montagne

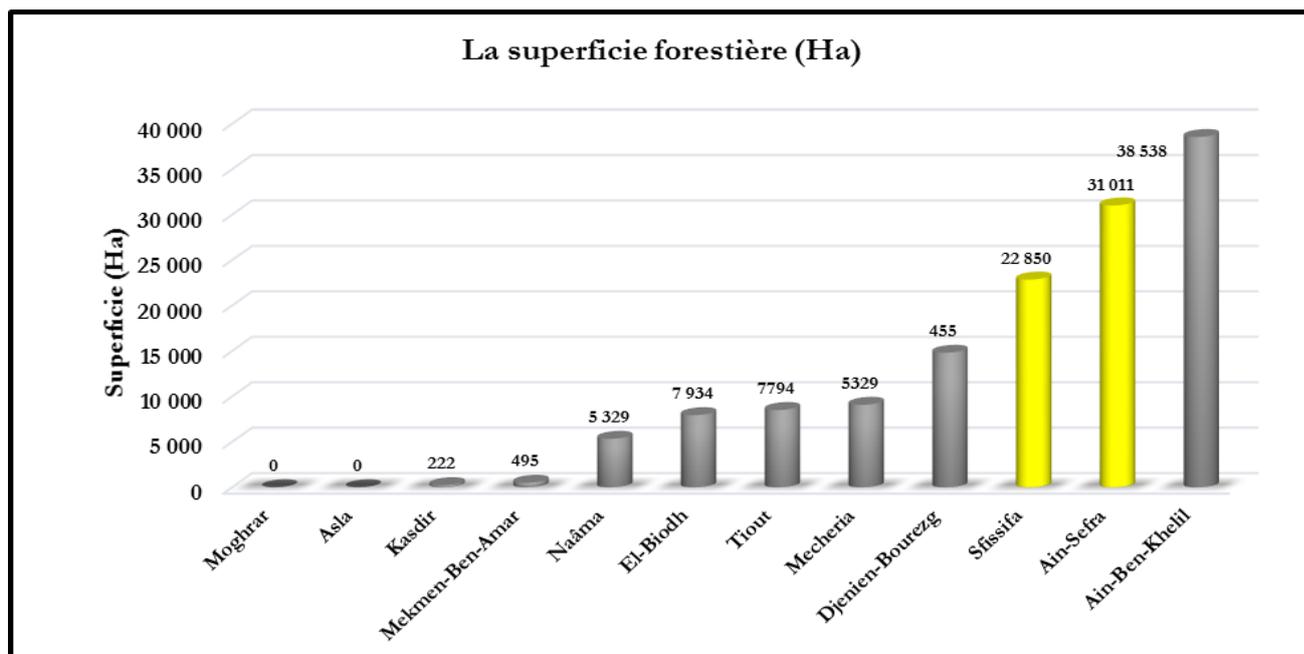


Figure 41. Répartition de la superficie forestière en (Ha) dans la wilaya de Naâma par commune (2014)

D'après le tableau 30 et la figure 41, On constate que la superficie forestière de notre région d'étude représente environ 39% de celle de la wilaya de Naâma, les espèces arboressantes telles que le genévrier et le chêne vert colonisent les sommets des Djebels, le pin d'Alep, le

cyprès, l'eucalyptus et le tamarix sont utilisés comme espèces fixatrices des dunes ou brise-vent. D'autre part, le retame rencontré sur les bords des Oueds (comme le cas de l'Oued Sfissifa).

Tableau 31. Répartition de la superficie forestière et Alfatière (Ha) dans la wilaya de Naâma par commune (2014) (Source : D.P.S.B., 2016).

Commune	Super. Forestière totale (Ha)	Terre dénudée destinée au reboisement + voiles dunaires	Superf. Alfa (Ha)	Total général
Naâma	5 329	6 644	37 866	49 839
Mecheria	9 069	3 295	19 893	32 257
Ain-Sefra	31 011	5 056	10 732	46 799
Tiout	8 500	100	7 198	15 798
Sfissifa	22 850	200	50 857	73 907
Moghrar	0	500	0	500
Asla	0	650	17 538	18 188
Djenien-Bourezg	14 800	400	0	15 200
Ain-Ben-Khelil	38 538	8 000	76 256	122 794
Mekmen-Ben-Amar	495	1 400	41 793	43 688
Kasdir	222	300	117 874	118 396
El-Biodh	7 934	2 695	56 243	66 872
Total	138 748	29 240	436 250	604 237,8

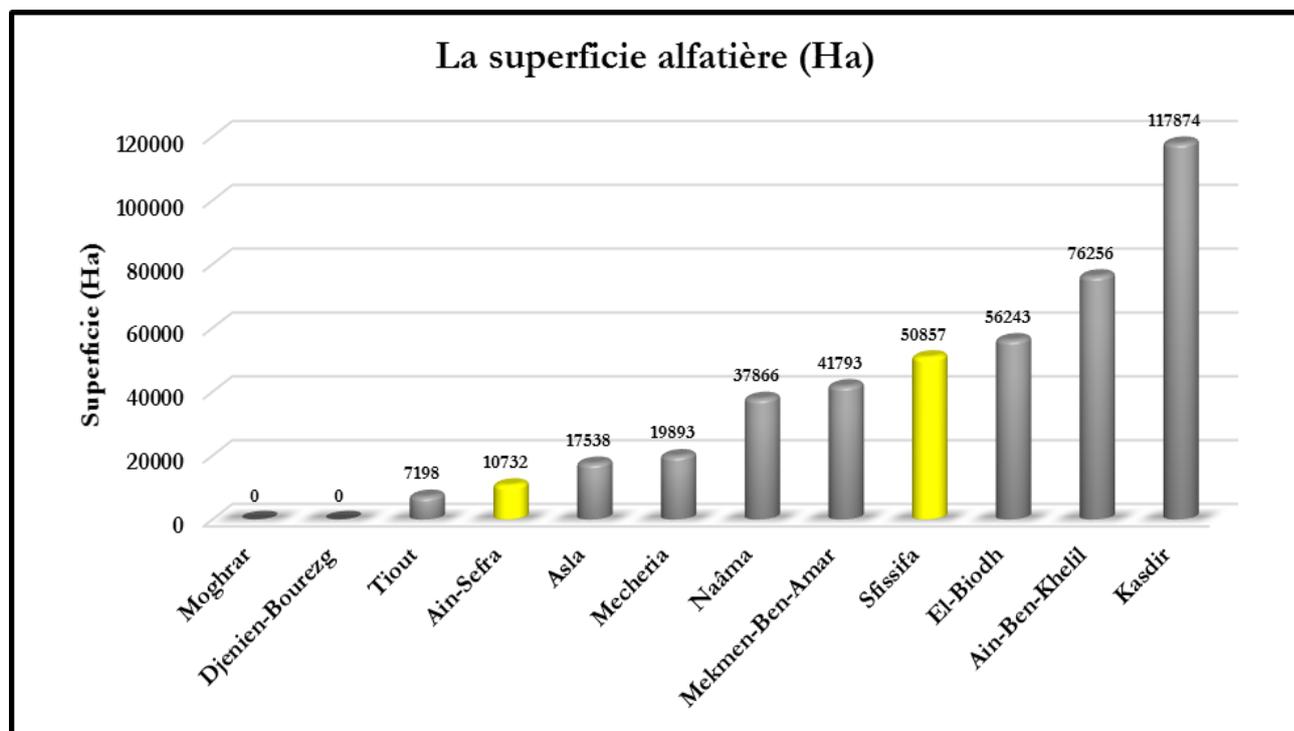


Figure 42. Répartition de la superficie alfatière (Ha) dans la wilaya de Naâma par commune (2014)

Selon les données du tableau 31 et la figure 42, ainsi que la plupart des travaux de recherches effectués dans la steppe, il a été confirmé qu'il y a une régression dramatique des

aires alfatières est due à la sécheresse qui dure depuis plusieurs années, à la charge du cheptel sur les parcours à Alfa notamment dans la région de Noufikha, Larouiya (Sfissifa). D'autre part, les communes de Kasdir et d'Ain Ben Khelil maintiennent les premières places pour la wilaya en termes de superficie des nappes Alfatières ; selon mon opinion personnelle, une grande partie de ces surfaces d'Alfa est située sur la bande frontalière avec le Royaume du Maroc et n'est pas accessible au pâturage.

En effet, l'Alfa contribue de manière très importante, en association avec d'autres espèces telles que le sparte (*Lygeum spartum*) et le remth (*Hammada scoparia*), à entretenir le sol et à le protéger contre le phénomène d'érosion éolienne et hydrique lors des périodes du vent et d'inondation.

II.1.4.2 Les reboisements

Le barrage vert passe par notre zone d'étude est conçu au départ comme une opération de reboisement, de plantation fourragère et de mise en défens des parcours, des travaux de fixation des dunes et de développement de l'arboriculture. Les reboisements sont en majorité de pin d'Alep (*Pinus Halepensis*) et accessoires d'eucalyptus avec de rares cyprès dont la majeure partie a été effectuée entre 1972 et 1980 sur des terrains plats ou de faible pente, le long de la route nationale (RN6) et autour des agglomérations comme une ceinture verte de protection. Il se présente en une série de bosquets implantés sur l'un des bords de la route avec une largeur ne dépasse pas les 100 mètres à l'exception du barrage vert au Nord –Est de Mécheria qui a une dimension assez grande (3 km de longueur et 1.3 km de largeur). Les blocs de dalle calcaire laissés sur places témoignent des travaux de routage de la dalle au moment du reboisement. Il est actuellement dans une phase de dégradation avancée, en raison notamment de la sécheresse, du surpâturage ainsi que de la chenille processionnaire.

Aujourd'hui, le patrimoine forestier de la wilaya s'étalant sur une superficie de plus de 23000 ha est constitué principalement de peuplement artificiel sous forme de bande et ceinture verte, reboisement et bosquet d'ombrage, fixation du dunes, plantations pastorale, plantation fruitière et brise- vent (D.P.S.B., 2016) (Tab. 32).

Tableau 32. Situation des reboisements (depuis la création de la wilaya) par commune au 31/12/2014 (D.P.S.B., 2016)

Commune	Superficie (ha)					Brise-vent	
	Bande et ceinture vert	Reboisement et bosquet d'ombrage	Fixation du dunes	Plantations pastorales	Plantation fruitière	Kml	Nobre des plants
Naâma	925	488,5	3281	145	268	295	295 000
Mecheria	344	720	230	20	308	389	393 000
Ain-Sefra	141	20	2780	0	234	348,5	348 500
Tiout	67	0	50	0	273	225	225 000
Sfissifa	50	0	80	0	146	194,2	194 180
Moghrar	20,5	0	50	0	223	239	240 500
Asla	0	3	0	80	303	217	221 000
Djenien-Bourezg	0	0	0	0	120	55	55 000
Ain-Ben-Khelil	15	5	3030	75	355	794	798 000
Mekmen Ben Amar	70	450	384	0	30	87	87 000
Kasdir	122	0	235	74	56	46	46 000
El-Biodh	390	0	3008	170	139	289,5	289 400
Total	2145	1686,5	13127	564	2455	3179	3 192 580

La région de Ain Sefra, comme d'autres communes de la wilaya, a bénéficié de programmes de reboisement, principalement le développement de plantations de fixation de dunes avec 2 780 ha situées principalement à D'Zera, ainsi que des investissements des agriculteurs dans le cadre du FNDA pour des plantations fruitières de 234 ha pour toutes les espèces confondues ainsi que plus de 348 km l de plantations brise-vents.

II.1.4.3 Le parc national de Ain Aïssa

Notre zone d'étude a raffermi par un parc national dite Ain Aïssa, comme tous les parcs nationaux, les objectifs de la création de ce parc de Djebel Aïssa sont la conservation de la faune, de la flore, du sol en général tous les écosystèmes naturels présentant un intérêt particulier à préserver. Il a été créé officiellement par décret exécutif n° 003-148 du 29 mars 2003. S'étendant sur une superficie de 24 400 Ha, le Djebel Aïssa fait partie de l'ensemble montagneux des monts des ksour, partie occidentale extrême de l'atlas saharien. Il culmine à une altitude de plus de 2 236 m.

Selon la conservation des forêts et sur le plan floristique, le parc présente une végétation de type tellienne dont l'installation remonterait au début du Quaternaire et qui renferme une liste d'espèces endémiques menacées de disparition. La plus grande partie de cette région est occupée par des formations steppiques sont représentées par l'Alfa, l'armoïse blanche ou par des mélanges à alfa, sparte et armoïse blanche. Dans les dépressions s'installent les jujubiers et

les pistachiers de l'atlas. En altitude apparait le chêne vert, le genévrier oxycèdre et le pin d'Alep (Fig. 49e et 49f).

La faune rencontrée dans le territoire du parc est représentée essentiellement par : le lièvre, le sanglier, le chacal, le renard et une série d'espèces ayant existé en abondance auparavant telles l'outarde, le porc épic, le mouflon à manchettes, la gazelle dorcas...etc. L'avifaune est représentée par près de 25 espèces figurant toutes sur la liste des espèces d'oiseaux à protéger. Le parc compte parmi ses sites naturels et archéologiques des grottes baptisées au nom du Djebel Aïssa et 16 stations de gravures rupestres donc il représente un majestueux sanctuaire qu'il faut impérativement protéger contre toute atteinte.

II.2. Aspects socioéconomiques

La présente analyse du milieu socio-économique repose sur les résultats des enquêtes élaborées à partir des données recueillies auprès des organismes tels que la Direction de la programmation et du suivi budgétaire (D.P.S.B), la Direction des services agricoles (D.S.A), le Haut-commissariat au développement de la steppe (H.C.D.S) et la Direction générale des forêts (D.G.F) de la wilaya de Naama. La première analyse de ces données révèle la présence des changements très marqués par le passage du mode d'utilisation extensive des ressources naturelles, dans le cadre de la vie nomade et semi-nomade, vers une occupation et une exploitation relativement intensive de l'espace suite à la sédentarisation des populations locales.

En effet, les éleveurs sédentaires de la région ont modifié de manière significative leur système de production par une association des cultures céréalières avec les élevages sur place.

II.2.1 Population

La croissance démographique, le mouvement de sédentarisation d'une partie importante de la population de la wilaya de Naama et le désir d'améliorer les revenus aux familles, nous assistons à une expansion rapide de l'agriculture au détriment des meilleures zones pastorales dont la végétation naturelle est détruite par des moyens mécaniques plus puissants.

En outre, la pression croissante que l'homme et ses troupeaux exercent sur ces écosystèmes, associée à la précarité du climat, a conduit à une accélération du processus de dégradation des parcours par de nombreux phénomènes, parmi les plus frappants étant la désertification, l'érosion éolienne et hydrique.

II.2.1.1 Historique de peuplement

De nombreux témoignages préhistoriques de l'Atlas saharien prouvent que la présence du peuplement de la wilaya de Naâma remonte à plus de 10 000 ans à travers des gravures

rupestres et quelques restes de végétaux emprisonnés dans les roches des Monts des Ksour, ce qui permet d'entrevoir ce qu'était la faune et la flore à la fin du Quaternaire.

Les ksour de la région de l'Atlas, qui ont été construits il y a des milliers d'années, étaient peuplés par des sédentaires ou des semi-nomades pratiquant plutôt des activités agro-pastorales dans leurs oasis de montagne. En effet, les Ksouriens, qui exerçaient sur place des activités agricoles, ont représenté comme une minorité par rapport aux tribus nomades. On estime à plus de 80 % de la population nomade par rapport aux Ksouriens.

On admet que la Wilaya de Naâma se trouvait partagée en deux confédérations tribales des H'MAYANES et des AMOURS. Il est reconnu que les H'myanes étaient nomades sur le territoire de la Daïra de Mekheria et qu'ils pratiquaient la transhumance d'été jusqu'à la M'lata ou jusqu'au Sahel d'Oran, tandis que la transhumance d'hiver se pratiquait sur la vallée de l'Oued En-Namous et jusqu'au gourara. Par ailleurs, les Amours occupaient le territoire des Daïras de Ain Sefra et de Sfisifa, Leurs transhumances se font localement, d'Est en Ouest, et pénètrent jusqu'au Maroc.

II.2.1.2 Evolution de la population

La répartition de la population dans la wilaya de Naâma se caractérise par une tendance à une bipolarisation dans les deux communes de Mécheria et de Ain Sefra dont près de 61% de la population totale y réside dans une superficie n'excédant pas 7% de la superficie totale de la wilaya (**D.P.S.B., 2016**).

En termes de volume de population sédentaire, les autres communes se répartissent en deux groupes (**Fig. 43**):

- Le premier composé des communes de Naâma, El-biodh et Ain-Benkhelil et Asla où la population varie entre 10 000 et 25 000 Habitants.
- Le deuxième groupe composé de Tiout, Sfisifa, Moghrar, Djenien-Bourezg, Mekmen-Ben-Amar et Kasdir où la population est au-dessous de 10 000 Habitants.

Tableau 33. Évolution de la population aux différents recensements par communes de wilaya de Naâma (entre RGPH 1977 et 2016) Source : (D.P.S.B., 2016)

<i>Commune</i>	<i>RGPH 1977</i>	<i>RGPH 1987</i>	<i>RGPH 1998</i>	<i>RGPH 2008</i>	<i>Année 2016</i>
<i>Naâma</i>	5348	5694	11339	18271	25638
<i>Mecheria</i>	23313	40390	54627	66635	94202
<i>Ain-Sefra</i>	17141	27987	36577	53205	70790
<i>Tiout</i>	1835	4042	5014	6532	7179
<i>Sfissifa</i>	3423	4705	6457	7074	7592
<i>Moghrar</i>	2502	2958	3275	4348	4653
<i>Asla</i>	4137	5608	8030	9692	11167
<i>Djenien-Bourezg</i>	1358	2093	2765	3328	3621
<i>Ain-Ben-Khelil</i>	4652	5674	10205	12393	13772
<i>Mekmen-Ben-Amar</i>	5396	4221	8165	8444	10425
<i>Kasdir</i>	5509	3908	6674	7702	7717
<i>El-Biodh</i>	7941	6420	12450	11846	11965
<i>Total</i>	82555	113700	165578	209470	268721

D'après le **tableau 33**, la population de la région a connu une évolution importante à travers les différents recensements de population menés à partir du recensement général de la population et de l'habitat (RGPH) de 1977, la population de la wilaya de Naâma était de 82 555 habitants puis 165 578 habitants au RGPH de 1998 (résultats finaux officiels) avec un taux d'accroissement annuel moyen de 3,37 %. Pour atteindre 268 721 habitants en 2016, avec un taux d'accroissement annuel moyen enregistré au cours de la période 2008-2016 est de l'ordre de 3,16% (**Fig. 43**).

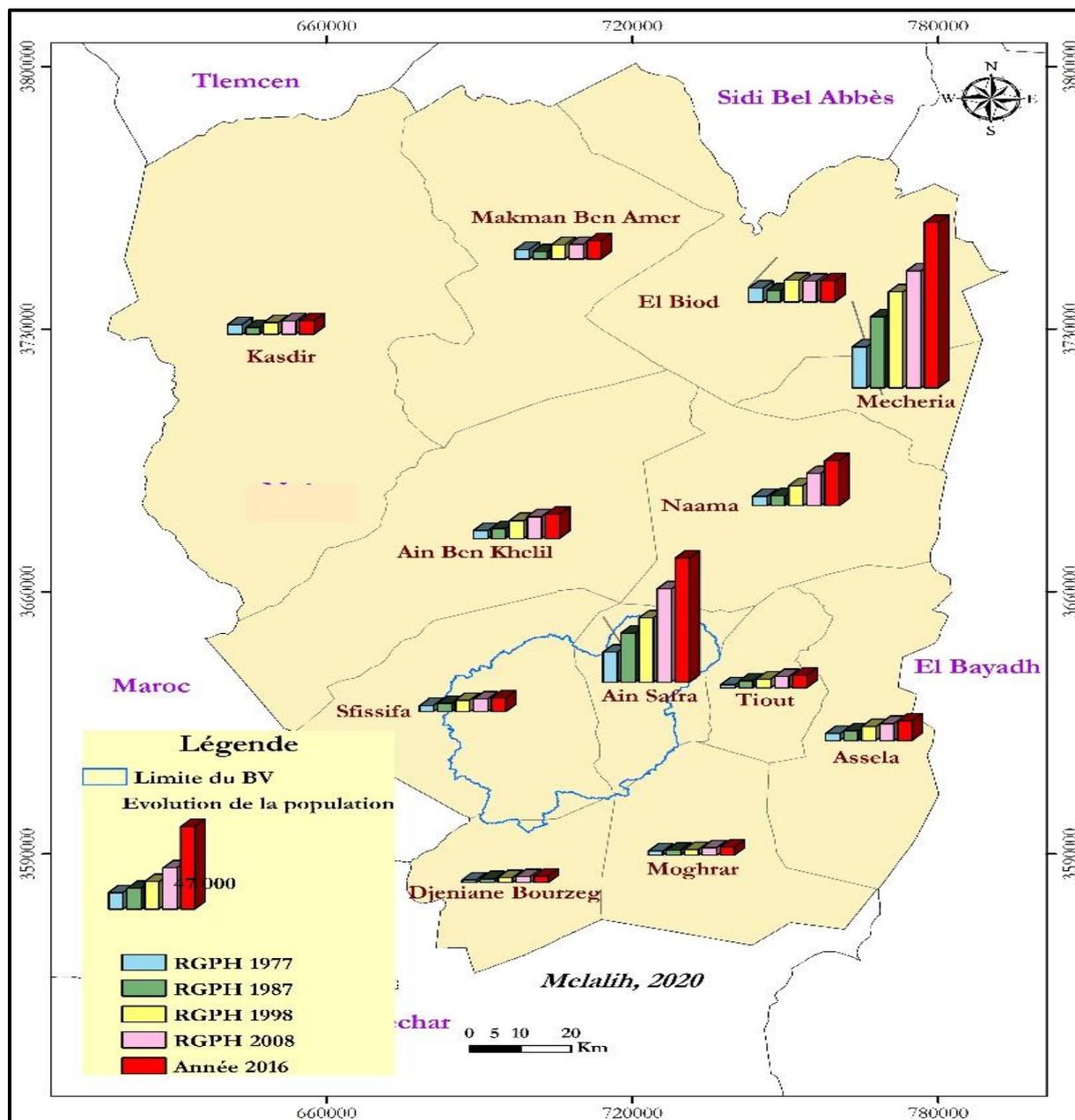


Figure 43. Évolution de la population occupée par commune de la Wilaya de Naâma.

Le taux d'accroissement annuel global moyen de la population reste élevé. Sa cadence d'accroissement est homogène durant la période allant de 1977 à 2016 ; elle se situe autour de 3%. Elle était de :

- * 3,25 % entre les RGPH de 1977 et RGPH de 1987 ;
- * 3,40 % entre le RGPH de 1987 et le RGPH de 1998 ;
- * 3,37 % entre RGPH de 1977 et RGPH de 1998 ;
- * 3,10% entre les RGPH des années 1998 et 2008 ;
- * 3,16% entre les RGPH 2008 et l'année 2016.

Une augmentation apparente dans le taux d'accroissement global moyen est observée entre le RGPH 1998 et l'année 2016. Cette augmentation peut être considérée comme une transition dans le comportement démographique de la population.

II.2.1.3 Structure de la population

La classification de la population en fonction des différents critères permettra aux responsables chargés de la planification de déterminer les différents besoins à satisfaire, d'une part, et d'autre part, de mieux positionner le niveau de développement de la wilaya par rapport aux autres wilayas.

A. Structure de la population par commune (densité)

La répartition de la population de la wilaya de Naâma est hétérogène dans l'espace. Elle diffère d'une commune à l'autre. Elle est importante à Mecheria et Ain-Sefra (regroupent à elles seules 164 992 habitants sur 1755,06 Km² soit 61,39 % de la population totale de la wilaya) et très faible à Djenien- Bourezg et Moghrar où elle est représentée respectivement par 3621 et 4653 habitants sur 2939,45Km² (**Tab. 34**).

Tableau 34. La densité de la population de la wilaya de Naâma par commune (au 31/12/2016) Source (**D.P.S.B., 2016**)

<i>Commune</i>	<i>Population</i>	<i>Superficie en Km²</i>	<i>Densité habitants/km²</i>
<i>Naâma</i>	<i>25638</i>	<i>2525,93</i>	<i>10,15</i>
<i>Mecheria</i>	<i>94202</i>	<i>750,12</i>	<i>125,58</i>
<i>Ain-Sefra</i>	<i>70790</i>	<i>1004,94</i>	<i>70,44</i>
<i>Tiout</i>	<i>7179</i>	<i>851,1</i>	<i>8,43</i>
<i>Sfissifa</i>	<i>7592</i>	<i>2438,61</i>	<i>3,11</i>
<i>Moghrar</i>	<i>4653</i>	<i>1746,26</i>	<i>2,66</i>
<i>Asla</i>	<i>11167</i>	<i>2069</i>	<i>5,40</i>
<i>Djenien-Bourezg</i>	<i>3621</i>	<i>1193,19</i>	<i>3,03</i>
<i>Ain-Ben-Khelil</i>	<i>13772</i>	<i>3800,03</i>	<i>3,62</i>
<i>Mekmen-Ben-Amar</i>	<i>10425</i>	<i>3325,48</i>	<i>3,13</i>
<i>Kasdir</i>	<i>7717</i>	<i>6386,46</i>	<i>1,21</i>
<i>El-Biodh</i>	<i>11965</i>	<i>3728,18</i>	<i>3,21</i>
Total	268721	29819,3	9,01

Cette hétérogénéité de la population dans l'espace rend les charges socio-économiques relativement plus pesantes sur les deux grands centres urbains (Mécheria et Ain Sefra) que sur les autres communes. Ces paramètres se traduisent par des densités de population inégales (**Fig. 44**).

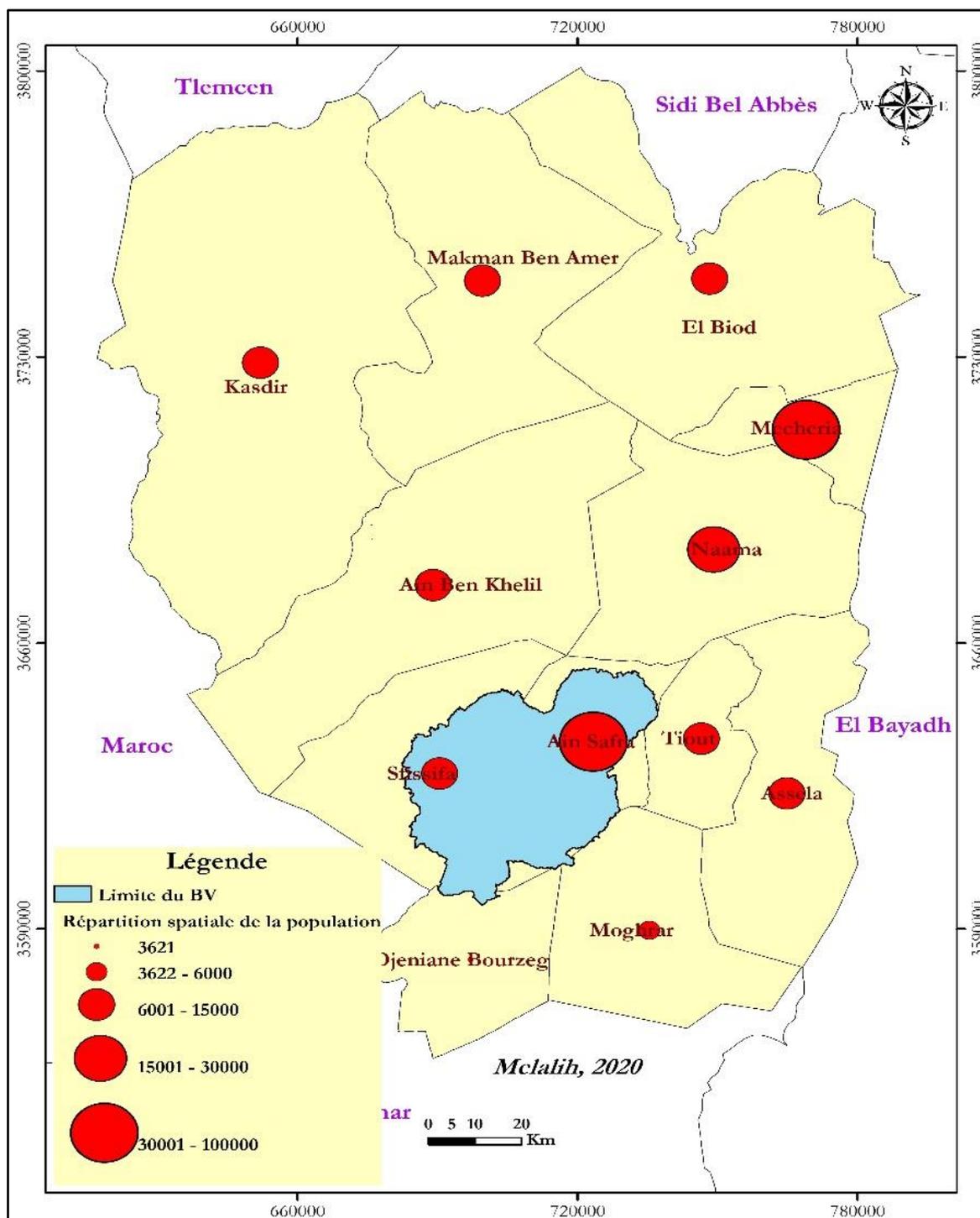


Figure 44. Répartition spatiale de la population occupée par commune de la Wilaya de Naâma à travers notre bassin versant (en 2016).

Ce phénomène de bipolarisation de la population à Mécheria et Ain Sefra est dû essentiellement en premier lieu aux enregistrements des nouveau-nés venants des autres communes pour accoucher en milieu sanitaire assisté et adéquat dont disposent ces deux chefs-lieux, et en deuxième lieu vient du niveau de développement attrayant la population d'ailleurs (Fig. 45).

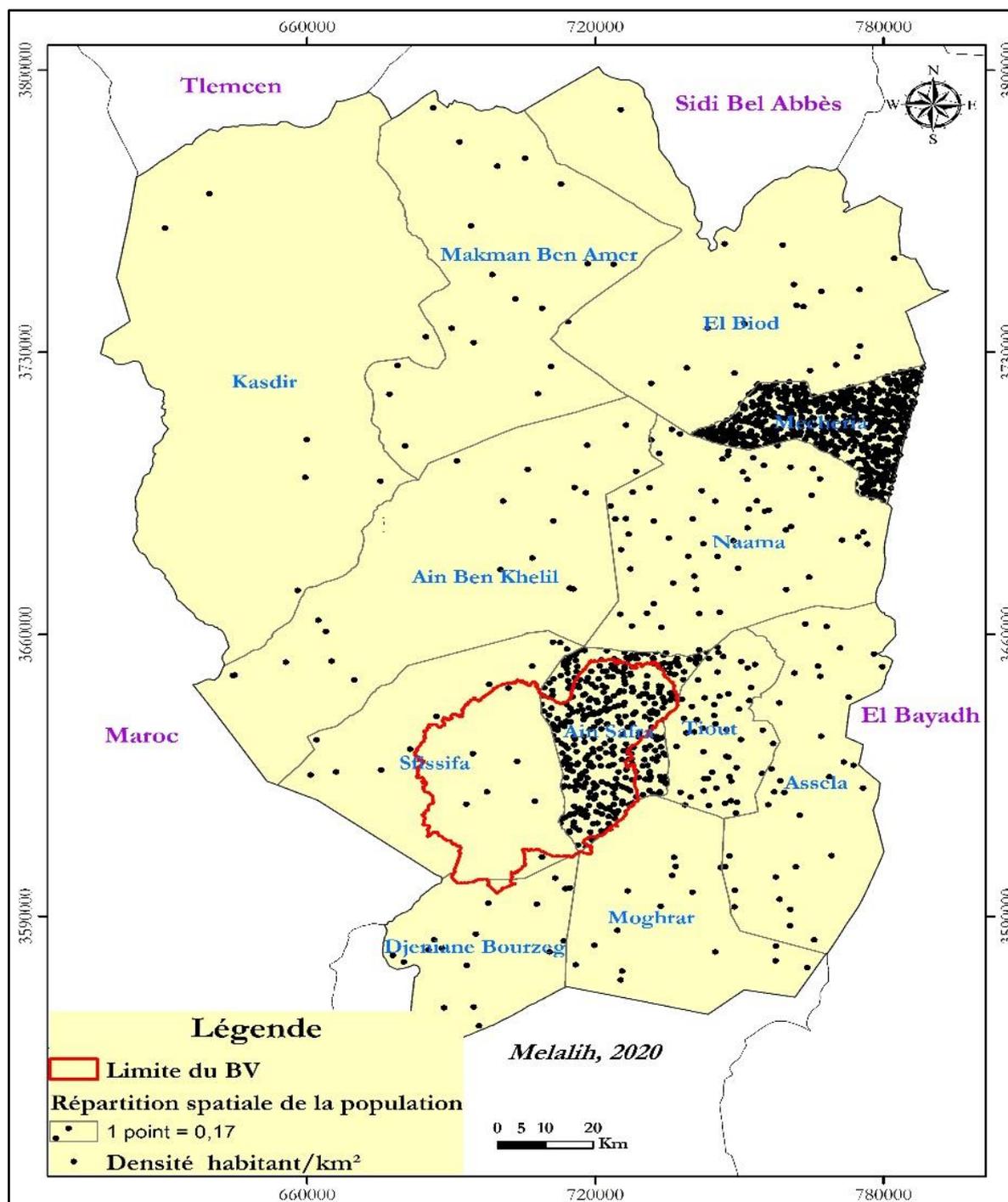


Figure 45. Répartition spatiale de la densité de la population occupée par commune de la Wilaya de Naâma à travers notre bassin versant (en 2016).

La figure 45, montre que la répartition spatiale de la population par commune au niveau de la wilaya de Naâma comprend en fait deux sous-ensembles régionaux bien distincts :

- Le premier espace marqué avec une tendance à l'agglomération au sein des deux Communes citée auparavant Mécheria et Ain Sefra. De ce fait, cet espace est relativement développé où se concentre : - les grandes infrastructures de communications à savoir les

routes nationales RN6 et RN22, la voie ferrée, le réseau de télécommunications et l'aérodrome de Mécheria ;

- Les services publics et sociaux : centre universitaire, instituts, C.F.P.A, centres de santé, écoles, cliniques et autres ;

- Services spécialisés : bureaux postales, banques, assurances, coopératives agropastorales etc.

- Le deuxième représente le reste du territoire de la Wilaya (à l'exception de la commune de Naâma) étant constitué par le monde rural, faiblement peuplé comme il est marginalisé, il souffre également de nombreux dysfonctionnements :

- Problème de manque aux activités économiques pour absorber le chômage dont la majorité des victimes sont des jeunes (plus de 60% ont un âge entre 15 et 64 ans) ;

- Les voies de communication se trouvent dégradées ainsi que l'accessibilité aux zones agricoles et des parcours s'avère difficile ;

- Une économie qui repose essentiellement à la fois sur un élevage ovin extensif et une agriculture céréalière fortement tributaire des conditions climatiques ;

- Une dégradation continue de ressources naturelles (sol, eau et végétation) sous l'effet de l'avancée du sable comme de l'érosion hydrique des terres a pente.

B. Structure de la population par strate (urbaine et rurale)

La wilaya de Naâma comporte trois (03) centres de vie urbains ; en l'occurrence, Mécheria, Ain Sefra et Naâma. La majorité de la population totale vit dans des agglomérations urbaines. Le taux d'urbanisation est en augmentation, ce qui traduit par un afflux continu essentiellement des populations rurales vers les zones urbaines à savoir les agglomérations chefs-lieux de Naâma, Mécheria et Ain Sefra (**Tab. 35**).

Tableau 35. La répartition de la population sédentaire et nomade dans la wilaya de Naâma par commune (2016) Source (D.P.S.B., 2016)

Commune	Aggloméré		Éparses		Nomades		Total
	Population	%	Population	%	Population	%	
Naâma	20825,03	86,50	1555,89	6,46	1693,08	7,03	25638
Mecheria	84754,51	97,39	891,93	1,02	1377,56	1,58	94202
Ain Sefra	59423,01	89,97	5811,11	8,80	810,88	1,23	70790
Tiout	4155,11	59,09	1821,02	25,90	1055,87	15,02	7179
Sfissifa	2986,33	39,67	1603,23	21,30	2938,43	39,03	7592
Moghrar	3243,29	69,85	628,74	13,54	770,97	16,61	4653
Asla	6019,78	55,08	1744,62	15,96	3164,60	28,96	11167
Djenien-Bourezg	3266,82	92,52	91,54	2,59	172,64	4,89	3621
Ain-Ben-Khelil	6056,33	44,63	5822,12	42,90	1692,55	12,47	13772
Mekmen-Ben-Amar	6482,28	65,25	240,30	2,42	3211,41	32,33	10425
Kasdir	2500,00	32,49	5138,76	66,78	56,24	0,73	7717
El-Biodh	7396,71	62,01	4037,89	33,85	493,39	4,14	11965
Total	207109,20	82,05	29387,15	11,24	17437,65	6,71	268721

On observe à partir du tableau 35 et de l'analyse des données des recensements de 1966, 1977, 1987, 1998 et 2008 que la population a tendance à être regroupée. Ainsi, en 1966, la population agglomérée, qui représentait 38% de la population totale de toutes les communes de la wilaya, a progressé pour atteindre 58% en 1977, ensuite 74% en 1987, puis arrivée à 72% en 2008 pour se stabiliser autour de plus 80% en 2016.

D'autre part, la population nomade est passée de 61,8% en 1966 à 20% en 1987 pour atteindre 17% en 2016. Cette sédentarisation des nomades autour des centres urbains, a entraîné la diminution des parcours et la sédentarisation du bétail sur place se traduit par des conséquences graves pour la végétation steppique et contribue à l'épuisement des ressources naturelles de la région.

II.2.2 Sur le plan socio-démographique

Le peuplement des zones rurales évoque, dans certains cas, une saturation de plus en plus problématique de certains espaces (exemple des espaces Ksouriens) et, dans d'autres cas, une forte dispersion de la population et un niveau d'enclavement assez élevé des populations et des zones de production et d'activités (espace steppique).

La plupart des zones et communes rurales de la wilaya abritent par ailleurs une population essentiellement jeune et dynamique (plus de 70% âgés de moins de 30 ans et plus de 60% ayant dépassé le niveau d'études secondaires), mais souvent confrontée à d'importantes difficultés liées en grande partie à la faiblesse des infrastructures de base et à des conditions de vie et d'accès aux commodités et aux opportunités de travail. Certaines zones sont d'autre part

caractérisée par leur dévitalisation et leur dépeuplement suite à un exode rural plus ou moins forcé (sécheresse, chômage, pauvreté...).

Il est constaté aussi une faiblesse de l'intégration de la femme dans l'activité économique et une situation économique et sociale très inégale selon les communes ; une population occupée faible qui rend compte des faibles possibilités d'emploi en milieu rural.

Mais le peuplement des zones rurales constitue et peut constituer dans l'avenir un enjeu et un potentiel important pouvant conduire au développement durable de ces zones.

II.2.3 Potentiel économique de la Wilaya

La wilaya de Naâma est considérée comme une région particulièrement riche en ressources naturelles, et est dotée de potentialités économiques appréciables. Ses parcours steppiques, parmi les plus importants du pays en superficie, son patrimoine architectural ksourien et ses oasis, ses montagnes et ses forêts, ses lacs et ses dayas, ses vestiges historiques et ses gravures rupestres, lui confèrent une richesse patrimoniale considérable.

Depuis sa création, en 1984, la wilaya de Naâma a connu un développement remarquable, qui a permis des avancées en matière de réalisations d'infrastructures et d'équipements socio-collectifs, un élargissement de sa base économique, et la promotion de plusieurs petites agglomérations rurales en centres urbains, même si les pôles de Mécheria et Ain Sefra continuent à exercer un tropisme acquis de longue date.

Cependant, malgré les résultats et les progrès réalisés, les autorités locales demeurent préoccupées par certaines évolutions susceptibles de contrecarrer les efforts accomplis. En effet, l'exploitation parfois peu rationnelle des ressources locales, associée aux contraintes et à la fragilité du milieu naturel, ont favorisé des tendances de nature à hypothéquer les chances d'un développement harmonieux et durable du territoire de la wilaya. Des pans importants du territoire et du patrimoine local sont exposés à des processus de dégradation qui dévitalisent leur fonction économique et mettent même en péril la pérennité de ce précieux atout. C'est notamment le cas de la steppe à alfa, actuellement dans un état de dégradation avancé, ce qui favorise l'avancée du cordon dunaire et l'extension de la désertification.

Les tendances observées, qui témoignent de l'appauvrissement progressif du milieu naturel, mais aussi l'état de sous-équipement de certaines zones et le déséquilibre dans la diffusion des activités économiques, constituent autant de préoccupations qui s'intègrent directement dans le projet envisagé d'actualisation des projections d'aménagement du territoire de la wilaya.

Outre ses activités agricoles et pastorales, qui constituent sa vocation dominante, la wilaya de Naâma a développé une amorce d'activités industrielles ; elle a enregistré par ailleurs un essor de ses activités de service, principalement commerciales.

Tout en soulignant une certaine faiblesse et une visibilité encore insuffisante de l'environnement économique institutionnel :

- Les institutions chargées du développement rural spécifique aux zones steppiques comme le H.C.D.S, la Conservation des forêts, la D.S.A et les autres institutions annexes ont constitué une base nécessaire pour conduire les programmes de protection des ressources naturelles et de développement agro-pastoral. Mais leurs actions sur le terrain sont retardées ou parfois remises en cause par l'ampleur des tâches à accomplir et les méthodes d'action encore lourdes dépendantes de leurs structures administratives de type pyramidale.
- L'existence d'un fonds organisationnel dédié aux communautés pastorales traditionnelles aurait pu, certes, être un levier important pour le développement rural. Mais les identités propres aux zones rurales, qui constituent cette région, sont encore floues ou commencent à peine à s'ébaucher (communautés de base, organisations sociales et culturelles, administration, relais politiques...). Les organisations professionnelles et les groupements sociaux (coopératives, communautés rurales de base, associations, comités de villages...) arrivent par ailleurs difficilement à s'organiser et à participer, faute de volonté, d'informations suffisantes, de réseaux de communication et de soutien matériel.

II.2.4 Les activités socio-économiques

La croissance démographique est responsable de besoins supplémentaires de nourriture et en terrains agricoles, qui ont conduit à déboiser les terres couvertes pour les cultiver. Le taux de croissance démographique particulièrement élevé dans les hautes plaines et les steppes a entraîné :

- La surexploitation des ressources naturelles ;
- La dégradation de l'environnement ;
- L'amplification du phénomène de déboisement ;
- La détérioration des conditions de vie et l'émigration rurale.

Cette situation a entraîné un déséquilibre entre le rythme de croissance biologique des pâturages et les besoins du pastoralisme.

La steppe est exploitée « comme une mine » pour un troupeau pléthorique qui ne survit que grâce aux apports supplémentaires d'aliments subventionnés par l'état principalement l'orge.

Il est généralement admis que traditionnellement l'activité dominante dans la steppe était le nomadisme, ce mode de vie est basé sur la transhumance vers le Nord et vers le Sud.

Cette transhumance était dictée par un besoin en fourrage dans des zones favorable (parcours présahariens en hiver, zones céréalières en été), réglementée par des ententes tacites entre tribus, dont les revenus étaient tirés essentiellement de l'élevage.

Aujourd'hui la situation a évolué dans le sens d'une tendance à la sédentarisation et à la disparition progressive du nomadisme (**Nedjimi et al., 2006**).

II.2.5 L'agriculture et l'agropastoralisme

L'agriculture et le pastoralisme sont en effet les deux activités qui ont toujours été la vocation économique de la Wilaya de Naama dont fait partie également notre région d'étude la commune de Ain Sefra. Ce secteur a connu par le passé plusieurs crises, surtout celles liées aux facteurs climatiques et d'ensablement de la zone.

Dans les zones arides et semi-arides, le passage du pastoralisme fondé sur la mobilité des troupeaux à l'agropastoralisme avec le développement progressif d'une agriculture intégrée s'est accéléré avec la mise en place des politiques de lutte contre les effets de la sécheresse qui ont permis le maintien d'un stock animal important durant les périodes de sécheresse grâce aux transferts de fourrage des zones favorable vers les zones arides (**Bourbouze et al., 1999**).

A. L'AGRICULTURE

A l'échelle nationale, depuis 1996 l'agriculture conserve approximativement la 3^{ème} place en matière de contribution aux produits intérieurs bruts (PIB) derrière les secteurs des hydrocarbures et des services toujours avant l'industrie. A l'échelle locale, le premier secteur économique important dans la commune de Ain Sefra est l'agriculture, précisément l'agropastoralisme.

A.1 Surface Agricole Utile (SAU)

La surface agricole utile de toute la wilaya de Naama a connu une croissance non négligeable entre 1983 et 2014 puisqu'elle est passée de 855 à 26 228 Ha dont 58,61% en irriguée. La hausse de la SAU est due à l'accession à la propriété foncière et à la promotion de l'investissement dans le secteur suite à la progression des sédentarisation et des semi-sédentarisation. La surface agricole utile de la commune de Ain Sefra est de 2 957 Ha dont 85,99 % en irriguée soit 11,34 % de la SAU globale de la wilaya.

Il est important de noter que le chiffre de la SAU déclaré par la direction des services agricoles de la wilaya est sous-estimé, car les populations pratiquent de façon illégale les défrichements et les labours de terrasses, de glacis et des dayas au détriment des parcours steppiques.

Dans notre wilaya les surfaces cultivées ont connu une nette progression à partir de l'année 1984 ; date à laquelle les collectivités locales de la wilaya ont procédé à l'application de la loi 83-18 du 13 Aout 1983 portant sur l'Accession à la Propriété Foncière et Agricole (A.P.F.A). Entre 1987 et 2006 (20 ans d'intervalle), la SAU a quadruplé ; elle est passée de moins de 5000 Ha à plus de 20000 Ha (**Tab. 36**).

Tableau 36. Situation du FNDA dans la Wilaya de Naâma au 31/12/2014 (D.S.A., 2015)

<i>Commune</i>	<i>Dossiers retenus</i>		<i>Investissements (DA)</i>	
	<i>Total</i>	<i>Année 2014</i>	<i>Total</i>	<i>Année 2014</i>
<i>Naâma</i>	869	129	493 901 485	64 172 271,2
<i>Mecheria</i>	838	96	387 281 206	41 814 331,0
<i>Ain Sefra</i>	2327	243	1 564 274 454	107 912 320,2
<i>Tiout</i>	574	77	543 392 947	37 235 173,0
<i>Sfissifa</i>	716	79	639 635 999	50 511 784,2
<i>Moghrar</i>	372	19	318 795 272	10 089 320,1
<i>Asla</i>	775	52	521 243 481	26 825 181,3
<i>Djenien Bourezg</i>	170	2	130 570 409	1 563 429,5
<i>Ain-Ben-Khelil</i>	1613	99	1 200 029 758	110 453 388,2
<i>Mekmen-Ben-Amar</i>	229	1	210 817 396	120 000,0
<i>Kasdir</i>	246	0	36 202 207	0,0
<i>El-Biodh</i>	631	90	511 275 089	69 048 173,6
Total	9360	887	6 557 419 703	519 745 372,3

A l'opposé de ce type de terre, la superficie des terres de pacage et parcours représente la quasi-totalité des terres agricoles ; que ce soit au niveau de wilaya ou de notre commune d'étude, elle est respectivement de 2 177 172 Ha soit 98,80 % et de 50 294 Ha soit 94,42% du total des terres agricoles (**Tab. 37**) . Ces chiffres montrent clairement la vocation principale de ces communes qui est le pastoralisme.

Tableau 37. Répartition des terres agricoles (ha) par commune au 31/12/2014 (D.S.A., 2015)

Commune	S . A . U					Terres improductives	Pacage et parcourues	Total
	Cultures herbacées	Terres au repos	Arboriculture et vignoble	Total SAU				
				Total	Dont irriguée			
Naâma	1 468	796	387	2 651	1 202	4	188 480	191 135
Mecheria	1 423	202	357	1 982	1 295	4	35 535	37 521
Ain-Sefra	1 242	449	266 1	2 957	2 543	11	50 294	53 262
Tiout	720	37	793	1 550	1 537	5	57 955	59 510
Sfissifa	602	131	949	1 682	1 645	6	159 142	160 830
Moghrar	130	41	624	795	787	5	140 389	141 189
Asla	827	178	640	1 645	1 256	6	180 825	182 476
Djenien-Bourezg	97	48	336	481	469	2	48 837	49 320
Ain-Ben-Khelil	2 643	633	820	4 096	2 527	9	241 876	245 981
Mekmen-Ben-Amar	1 179	4	53	1 236	130	2	278 596	279 834
Kasdir	20	756	23	799	53	2	511 541	512 342
El-Biodh	4 584	1 036	734	6 354	1 930	4	283 702	290 060
Total	14 935	4 311	6 982	26 228	15 374	60	2 177 172	2 203 460

A.2 Mise en valeur des terres par l'Accession à la Propriété Foncière Agricole

(A.P.F.A)

L'application de la loi 83-18 du 13/08/1983 relative à l'A.P.F.A par la mise en valeur des terres agricoles a connu un début d'exécution au niveau de la wilaya de Naama en octobre 1984. Les attributions des terres ont été opérées soit à l'initiative des collectivités locales au sein des périmètres, soit à l'initiative des candidats (hors périmètres).

La situation globale des attributions arrêté au 31/12/2014 relève une superficie totale attribuée de 30 334 Ha pour 8 440 bénéficiaires dont 5 356 Ha pour 1663 bénéficiaires pour la commune d'Ain Sefra (D.S.A., 2015).

Enfin, cette loi a ouvert des possibilités d'investissement et d'exploitation des terres Arch, à tous les citoyens y compris, les détenteurs de fonds et de capitaux urbains complètement étrangers à la steppe. **Bedrani (1993)**, considère que « c'est une appropriation officielle des terres du domaine public, mais qui s'inscrit dans un climat hostile et dont les résultats sont très décevants : investissements inadaptés, systèmes non durables, etc... »

A.3 Mise à niveau des exploitations agricoles

➤ Le F.N.R.D.A et F.N.D.A

Tous les efforts déployés concourent à la consolidation des différentes actions inscrites dans le cadre du programme FNRDA (Fonds National de Régulation de Développement Agricole) et FNDA (Fonds National de Développement Agricole) et la mise à niveau de

l'ensemble des exploitations agricoles d'une part, et d'autre part l'augmentation de la SAU par la mise en valeur de nouvelles terres (A.P.F.A). L'objectif principal est l'intensification des poches agricoles par la plantation arboricole comme moyen de lutte contre la désertification et la promotion des cultures fourragères pour répondre aux besoins du cheptel.

L'impact socio-économique de ces programmes est que la mise en œuvre de ces derniers a permis l'implication d'autres sociétés d'exécution permettant la création de nouveaux emplois.

A.4 La production

La production végétale concerne essentiellement le maraichage qui occupe une superficie de 3 261 Ha pour une production estimée à 471 408 qx pour toutes les communes de la wilaya dont une superficie de 556 Ha pour une production estimée à 88 115 qx pour la commune de Ain Sefra tous genres confondus (pomme de terre, carotte, tomate, oignon, ail, navet...) (Fig. 46).

L'arboriculture et le fourrage artificiel occupent dans la commune de Ain Sefra respectivement la superficie 1 266 Ha, soit une production de 16 650 qx et 651 Ha soit 149 869 qx de production (D.S.A., 2015).

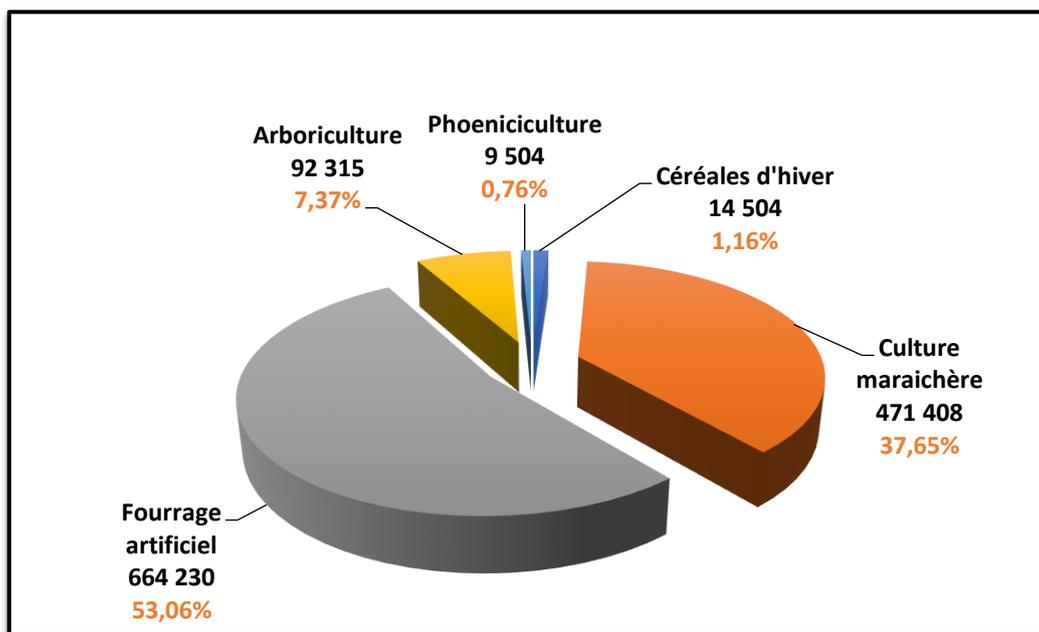


Figure 46. Production végétale en qx de la wilaya de Naâma (2014) ; Source (D.S.A., 2015)

Selon cette figure, la production végétale de la Wilaya de Naama est dominée par le fourrage artificiel (53,06%), dont la commune de Ain Sefra fournit 149 869 qx de fourrage, soit 22,56% de la production de la wilaya. La culture maraîchère occupe la deuxième place avec 37,56% et notre commune y contribue à hauteur de 19%. En troisième lieu, l'arboriculture, dont

18 % de la production est assurée par la commune de Ain Sefra, puis des céréales d'hiver et la phoeniciculture avec une importance moindre (**Fig. 49a et 49b**).

B. L'ELEVAGE

Les moyens mis en œuvre par l'État pour redynamiser les régions steppiques, ainsi que la sédentarisation de la population nomade et le développement d'autres activités économiques, n'ont conduit nullement à la disparition de l'activité pastorale et en particulier de l'élevage ovin. Celui-ci demeure même la première ressource économique de la wilaya et de la région steppique.

Dans la wilaya de Naama l'activité pastorale est dominante, le cheptel ovin représente 91.20% de l'effectif total du cheptel de la wilaya soit 1 200 000 têtes (**D.S.A., 2015**). La commune de Ain Sefra compte un effectif ovin de 73 435 têtes soit 6.11 % de l'effectif ovin de la wilaya (**Fig. 47**).

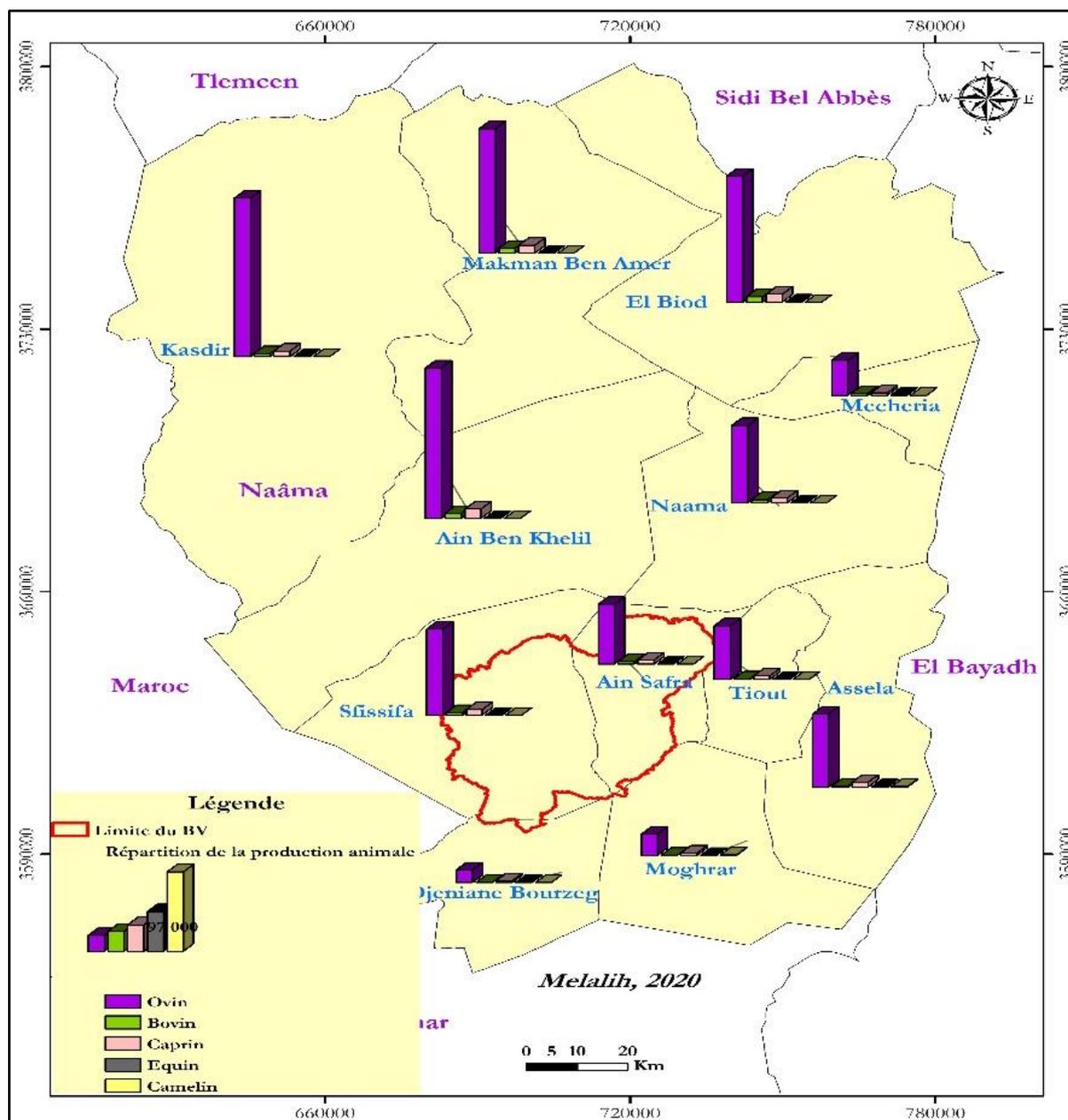


Figure 47. Répartition spatiale du cheptel par commune de la Wilaya de Naâma (2014)

Cette figure fait ressortir l'importance qu'occupe le cheptel ovin au niveau de la région (91%) qui se positionne sur le premier plan sur la totalité des communes. Suivi par l'élevage caprin (6%) et l'élevage bovin occupe une place non négligeable comparativement à l'élevage caprin.

On constate ainsi que la totalité du cheptel est concentré dans les communes frontalières du fait de sa grande superficie et de l'étendue de ses parcours (Kasdir, Ain Ben Khelil, Sfiissifa, Makmen Ben Amar et El Biod).

Le plus grand nombre de têtes est détenu par la classe des petits éleveurs (1 à 100 têtes), la classe des gros éleveurs ne détient que 5% de l'effectif total (**Fig. 48**). Ces gros éleveurs contrôlent également les circuits de commercialisation des produits de l'élevage et de l'agriculture (**Taibi, 1997**).

Les petits éleveurs se sont sédentarisés faute de ne pouvoir subvenir aux besoins de leurs troupeaux.

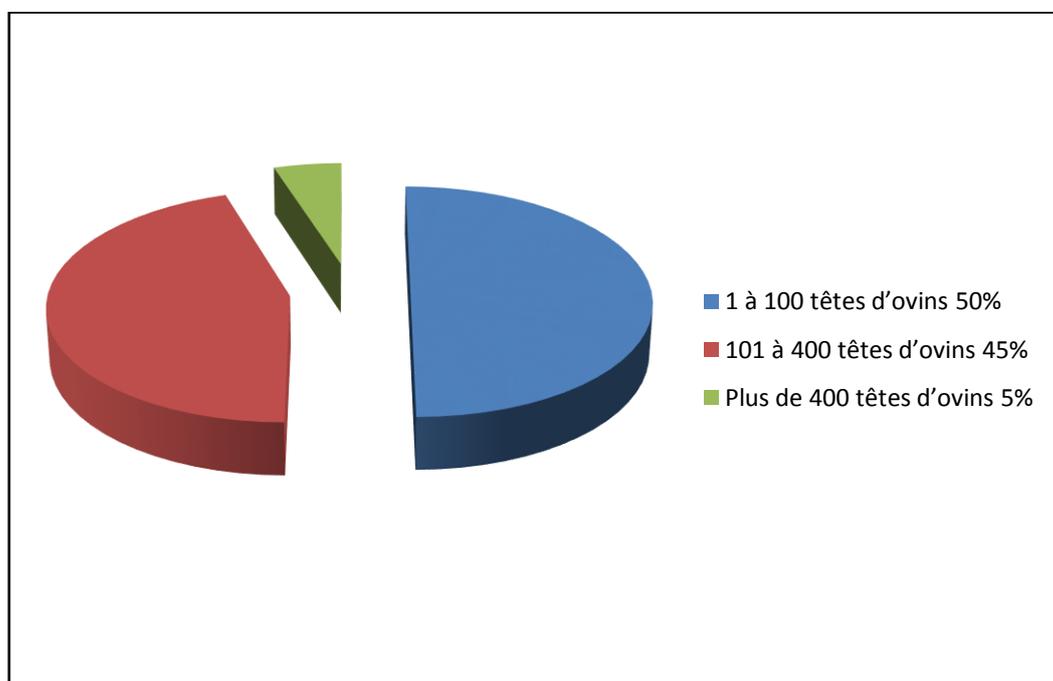


Figure 48. Distribution du cheptel ovin selon le mode d'appropriation chez les agropasteurs de la wilaya de Naâma (**D.S.A., 2015**)

Les pacages et les parcours steppiques de la zone d'étude couvrent une superficie estimée à 51 027 Ha soit 49, 87 % de la surface total de la commune. Auparavant, ils caractérisaient la principale ressource fourragère pour l'alimentation des cheptels ovins et caprins (**Fig. 49c et 49d**).

Plusieurs auteurs (**Le Houérou, 1985 ; Melzi, 1993 ; Aidoud, 1993 ; Bedrani, 1995 ; Abdelguerfi et Laouar, 2000**) in (**Bensaid, 2006**) affirment que les ressources naturelles des parcours ont baissé. Actuellement ces surfaces de parcours n'assurent même pas les 10% du besoin énergétique du cheptel.

L'état de dégradation avancé qui caractérise les parcours de notre zone d'étude incite à l'élaboration des programmes d'aménagement permettant d'établir un nouvel équilibre dans l'exploitation des ressources naturelles. Le programme consiste à protéger de la dégradation et à mettre en valeur les espaces dégradés. Il doit permettre le rétablissement et la conservation de

l'équilibre du milieu naturel, l'amélioration de l'offre fourragère, lutte contre la désertification et l'érosion hydrique ainsi que la création d'emploi. Ces actions seront basées sur la mise en défens et la plantation pastorale.

La préservation des parcours contre l'accentuation et l'aggravation des dégradations ne saurait être garantie par ces seules actions, si elles ne sont pas accompagnées et étayées par d'autres aménagements de protection dont la plantation d'arbres rustiques et l'hydraulique pastorale.

Selon les données calculées d'après la **D.S.A (2015)**, la situation de secteur pastoralisme dans la commune de Ain Sefra peut être résumée par les chiffres suivants :

- Nombre d'éleveur : 550
- Le cheptel s'estime à 81 808 têtes réparties par espèces de la manière suivante :
 - Ovin ----- » 73 435 têtes
 - Bovin ----- » 2 962 têtes
 - Caprin ----- » 4 803 têtes
 - Equin ----- » 94 têtes
 - Camelin ----- » 08 têtes
 - Espèce mulassière----- » 74 têtes
 - Espèce asine----- » 432 têtes
- La production animale 2014 :
 - Viande rouge ----- » 2 517 Qx
 - Viande blanche ----- » 535 Qx
 - Lait ----- » 3 021 920 L
 - Miel ----- » 44 Qx
 - Peaux ----- » 133 Qx
 - Laine ----- » 708 Qx
- Santé animale 2014 :
 - Vaccin anti clavelée (Ovin) ----- » 97 000 têtes
 - Vaccin anti aphteux (Bovin) ----- » 6 400 têtes

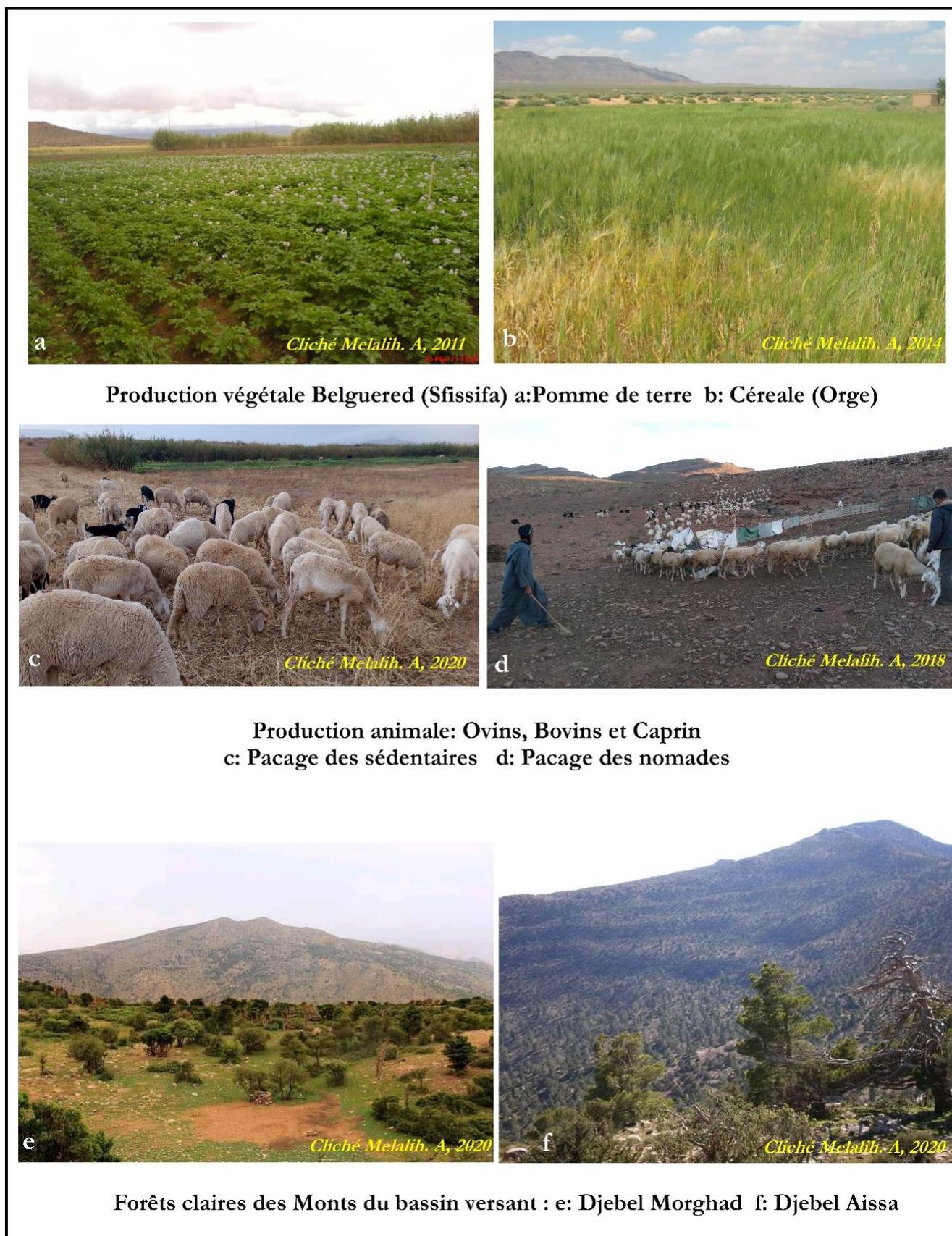


Figure 49. Activités économiques et des sites naturels dans le bassin versant de l'Oued Ain

Sefra

Conclusion

Notre région d'étude comprend une richesse en végétation naturelle essentiellement composée d'une strate basse de plantes herbacées très variées de plantes vivaces et éphémères (Alfa, armoise blanche, Drinn et le sparte) ainsi qu'une strate arborée claire et ligneuse de *Pinus halepenses*, *Pistacia atlantica*, *Juniperus phoenicea*, *Ziziphus lotus* et *Retama raetam*. Pour notre bassin versant, ces parcours représentent 39,47% de sa superficie et sont caractérisés par un milieu steppique fortement soumis à la dégradation du couvert végétal et à sa régression, au risque d'ensablement et aux risques d'inondation et d'érosion hydrique.

La population de la Wilaya de Naâma est de 268 721 habitants en 2016, sa répartition est caractérisée par une tendance à la bipolarisation dans les deux communes de Mécheria et de Ain Sefra où près de 61% de la population totale réside dans une zone ne dépassant pas 7% de la superficie totale de la wilaya. Avec un taux de croissance annuel moyen global de 3,16% et une densité de 9,01 habitants/Km².

Le pastoralisme et l'agriculture sont en effet les deux activités qui ont toujours été la vocation économique de la Wilaya de Naâma à laquelle notre région d'étude fait aussi partie (la commune de Ain Sefra). Les parcours dans cette dernière couvrent une superficie estimée à 51 027 ha, soit 49,87 % de la superficie totale de la commune.

La production végétale de la Wilaya de Naama est dominée par le fourrage artificiel (53,06%), dont la commune de Ain Sefra fournit 149 869 qx de fourrage, soit 22,56% de la production de la wilaya. La culture des maraichères occupe la deuxième place avec 37,56 % et notre commune y contribue à hauteur de 19 %.

Concernant la production animale, les ovins occupent la première place au niveau de la région (91%) dans toutes les communes. La totalité de ce cheptel est concentré dans les communes frontalières en raison de sa grande superficie et de l'ampleur de ses parcours (Kasdir, Ain Ben Khelil, Sfissifa, Makmen Ben Amar et El Biod).



CHAPITRE III

Evaluation spatiale de l'érosion hydrique
à l'aide de RUSLE intégrée dans un SIG

Chapitre III Evaluation spatiale de l'érosion hydrique à l'aide de *RUSLE* intégrée dans un SIG

Introduction

L'érosion du sol est le détachement, le transport et le dépôt de particules du sol par l'action, généralement combinée, de la pluie et du ruissellement. Ce processus de dégradation du sol par les eaux de ruissellement, surtout dans les zones sans végétation permanente, est probablement le fléau le plus important. Pour elle est irréversible et généralement à grande échelle (**Honorato et al., 2001**). Le monde est actuellement faire face à un véritable problème environnemental qui menace la biodiversité et la productivité de la majorité des écosystèmes naturels et agricoles, ce qui menace également la vie de la plupart des petits agriculteurs (**Haregeweyn et al., 2012 ; Keno et Suryabhagavan, 2014 ; Gessesse et al., 2015**).

La dégradation des sols, qui a souvent un caractère plus dramatique, est due à de nombreux facteurs qui sont le climat, la lithologie, la nature, la topographie, la couverture végétale et l'environnement. **Mazour (1991)** confirme que parmi ces facteurs, le climat est le plus important, qui prend sur un caractère agressif et provoque une dégradation rapide des sols lorsqu'ils ne sont pas protégés par une végétation dense suffisante. Ce processus se produit lorsque les paramètres d'érosion des précipitations interagissent avec des pratiques anthropiques inappropriées, telles que le travail du sol sur les pentes, le défrichement, la déforestation, l'extension des zones urbaines et la construction de routes au profit des terres agricoles. De même que le surpâturage et le manque de contrôle aggravent le problème (**Woldemariam et al., 2018**).

Au niveau mondial, les taux moyens d'érosion des sols sont estimés entre 12 et 15 t/ha/an (**Pham et al., 2018**). Dans les zones arides, elles sont soumises à des contraintes quantitatives et qualitatives sévères la dégradation causée par l'érosion hydrique. Cette dernière est un phénomène naturel qui évolue avec l'évolution anthropique et la sévérité du climat (**Djoukbala et al., 2018**). Chaque année, La surface des terres a perdu environ 0,90 à 0,95 mm de sol (**F.A.O., 2015**).

Dans le cas de l'Algérie, les terres touchées par l'érosion sont estimées à environ 20 millions d'hectares. Ces terres sont particulièrement situées dans les zones montagneuses où 90 % des barrages sont situés et où sont concentrées environ 20 millions de personnes (**Mazour et Roose, 2002**).

Plusieurs modèles et outils ont été élaborés par les chercheurs pour quantifier la perte en sol, notamment l'Équation Universelle de Perte en Sol (USLE) (**Wischmeier et Smith, 1978**), Equation Universelle Révisée de Perte en Sol (RUSLE) (**Renard et al., 1997**), le projet

de prévision de l'érosion hydrique (WEPP) (Nearing *et al.*, 1989), l'outil d'évaluation des sols et de l'eau (SWAT) (Arnold *et al.*, 1998), etc. Des études récentes ont montré que la combinaison de RUSLE, de la télédétection et le système d'information géographique (SIG) sont devenus des supports et des outils fiables pour la surveillance des ressources naturelles et la réduction des risques de catastrophe.

Toutes ces recherches nécessitent un grand nombre de données spatiales, que le SIG est susceptible de manière simple et efficace à cette fin. C'est pourquoi de nombreux chercheurs utilisent le SIG comme élément principal pour estimer l'érosion des sols à toutes les échelles spatiales (Belasri *et al.*, 2016).

Dans cette étude, les systèmes d'information géographique ont été utilisés pour évaluer et cartographier le phénomène de l'érosion hydrique en utilisant l'équation universelle révisée des pertes en sol (RUSLE) et déposition intégrée dans un SIG au niveau du bassin versant aride de l'Oued Ain Sefra dans les Monts des Ksour, la Wilaya de Naâma (Algérie). Cette approche est largement utilisée par les scientifiques dans les régions semi-arides et arides du monde entier, notamment en Algérie (Mostephaoui *et al.*, 2013 ; Toumi *et al.*, 2013 ; Benkadja *et al.*, 2015 ; Hasbaia *et al.*, 2017 ; Benchettouh *et al.*, 2017 ; Bouguerra *et al.*, 2017 ; Toubal *et al.*, 2018 ; Djoukbala *et al.*, 2018 ; Koussa et Bouziane, 2019).

III.1 Matériels et méthodes

III.1.1 Description du modèle RUSLE

Pour cette étude, les pertes en sol ont été estimées sur la base la méthode (RUSLE) développée par Renard *et al.*, (1997), qui est une version révisée de l'USLE modèle de (Wischmeier et Smith, 1978), le modèle le plus utilisé au monde dans ce domaine, en utilisant l'équation suivante (Eq. III.1) :

$$A = R * K * LS * C * P \quad (\text{Eq. III.1})$$

Où ;

A : est la perte de sol annuelle estimée (t /ha/an) ;

R : est le facteur d'érosivité des précipitations (MJ.mm/ha/h/an) ;

K : est le facteur d'érodabilité du sol (t.ha.h /MJ/ha/mm) ;

L : est la longueur de la pente et S est le degré de pente (sans dimension) ;

C : est le facteur de contrôle du couvert végétal (sans dimension) ;

Et P est lié aux pratiques et aux équipements de soutien (sans dimension).

Les informations sur ces cinq principaux facteurs de contrôle de l'érosion des sols ont été obtenues à partir de différentes sources de données primaires et secondaires (Fig. 50). La description des données utilisées est présentée dans le tableau suivant :

Tableau 38. Description des données utilisées pour l'estimation des pertes en sols

<i>Type de données</i>	<i>Format</i>	<i>Description</i>	<i>Source</i>
Données de précipitations	Excel (*.xls)	Données mensuelles/ annuelles (1980/2019)	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)
Données topographiques (Shuttle Radar Topography Mission SRTM)	Raster (*.tif)	Résolution: 30 m 2018	United States Geological Survey (http://earthexplorer.usgs.gov/)
Image satellitaire Landsat 8	Raster (*.tif)	Résolution : 30 m date acquisition: (09/03/2018)	United States Geological Survey (http://earthexplorer.usgs.gov/)
Propriétés du sol	Raster + Excel file (* .tif + *.xls)	Harmonized world soil database	Harmonized World Soil Database (HWSD) version 1.2 (http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/)

III.1.1.1 Facteur d'érosivité des précipitations (R)

Le processus d'érosion des sols est fortement conditionné par l'énergie cinétique des gouttes d'eau sous la pression des éclaboussures et du ruissellement (effet *Splash*). Selon **Wischmeier et Smith (1978)**, le facteur R peut s'expliquer par l'interaction entre l'énergie cinétique de des précipitations et de la surface du sol.

Avec le modèle *RUSLE*, et selon **Renard et al., (1997)**, l'estimation de paramètre d'érosivité des précipitations étaient basés sur la multiplication de l'énergie totale de la tempête par l'intensité de 30 minutes de précipitations. Dans cette étude, les données météorologiques utilisées pour estimer le facteur d'érosivité des précipitations (R) ont été obtenues auprès de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (A.N.R.H). Les données sur les précipitations mensuelles et annuelles ont été collectées à partir de sept stations météorologiques (Ain Sefra, Naâma, Mechria, Bechar, El Bayadh, El Kheiter et Saïda) et l'A.N.R.H sur une période de 25 à 30 ans (**Tab. 39**). R pour l'ensemble du bassin versant ont été calculées et interpolées à l'aide du krigeage ordinaire l'interpolation au sein du SIG.

Tableau 39. Précipitations moyennes annuelles enregistrées dans les stations pluviométriques situées dans notre zone d'étude (période : 1980-2019) (Source : **A.N.R.H., 2020**)

<i>Stations</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Altitude</i>	<i>Période</i>	<i>Précipitations moyennes annuelles (mm)</i>
<i>Ain Sefra</i>	3862472.92	-66366.45	10580	1981-2019	215.34
<i>Naâma</i>	3930900.78	-33804.28	11660	1995-2019	241.50
<i>Mechria</i>	3965693.96	-31621.04	11490	1980-2019	275.34
<i>El Kheiter</i>	4048563.64	7643.7	10000	1981-2019	260.80
<i>El Bayadh</i>	3983133.54	111598.06	13410	1980-2019	336.19
<i>Saida</i>	4145791.54	16816.15	7700	1981-2019	430.21
<i>Bechar</i>	3713157.96	-249184.71	7730	1980-2019	150.17

Pour la présente étude, en raison du manque de données disponibles sur l'intensité des précipitations, il n'est pas possible d'utiliser la formule donnée par **Renard et al., (1997)**.

En fait, cette situation se produit dans la plupart des bassins versants algériens. En effet, les données pluviométriques les plus fiables sont celles enregistrées sur une échelle journalière, mensuelle et annuelle ; pour cette raison, une alternative basée sur les précipitations mensuelles et annuelles (**Eq. III.2**) ont été préférées. De nombreux chercheurs ont appliqué et proposé ladite formule, telle que : **Kalman, 1967 ; Arnoldus, 1980 ; Rango et Arnoldus, 1987 ; Sadiki et al., 2004 ; Djoukba et al., 2018 ; Benselama et al., 2018**.

$$\text{Log R} = 1.74 \text{ Log} \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} + 1.29 \quad (\text{Eq.III. 2})$$

Où ;

R : Facteur d'érosivité des précipitations (MJ mm/ha h an) ;

P_i : Précipitations mensuelles (mm) ;

P : Précipitations annuelles (mm).

III.1.1.2 Érodabilité du sol (K)

Le facteur d'érodabilité du sol (K) dépend de la texture, de la structure et de la perméabilité du sol ainsi que sa richesse en matière organique (M.O). Elle dépend généralement de la nature du sol, de l'inclinaison de la pente et de la densité de la couverture végétale (**Ibrahima et Honore, 2017**). Pour notre étude, le facteur K est obtenu à partir de la base de données harmonisée des sols du monde (HWSD) de la **F.A.O., 2012**] version 1.2 Cette base de données consiste en un document SIG matriciel qui est associé à un en format Microsoft Access (**Fig. 50**). Selon les données de la **F.A.O (2012)**, plus de 16 000 différentes unités de

cartographie des sols sont reconnues dans le HWSD, qui comprend 21600 lignes et 43200 colonnes, soit 221 millions de cellules de grille pour couvrir le monde entier, qui sont associées à des ensembles d'attributs harmonisés.

L'utilisation d'une grille standardisée offre la possibilité de relier les données d'attribut à la trame afin d'afficher ou d'examiner la composition en unités de sol et de déterminer les paramètres du sol, tels que ceux donnés par **Benselama et al., (2018)** : carbone organique, pH, capacité de stockage de l'eau, profondeur du sol, capacité d'échange des légendes du sol et de la fraction argileuse, total nutriments échangeables, teneur en chaux et en gypse, pourcentage d'échange de sodium, salinité, texture la classe et la taille des particules. Dans notre cas, la valeur d'érodabilité du sol a été calculée en fonction des formules (**Eq. III.3**) recommandées par **Neitsch et al., (2011)**.

$$K_{USLE} = K_w = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{orgc} \cdot f_{hisand} \quad (\text{Eq. III. 3})$$

Où ;

- f_{csand} est un facteur qui diminue la valeur K pour les sols ayant une forte proportion de sable grossier et augmente la valeur K dans les cas où le sol contient peu de sable ;
- f_{cl-si} indique un faible facteur d'érodabilité dans les sols ayant un rapport argile-silice élevé;
- f_{orgc} réduit les valeurs K lorsque la teneur en matière organique est élevée ;
- f_{hisand} réduit les valeurs K lorsque la teneur en sable est élevée.

$$\circ f_{csand} = \left(0.2 + 0.3 * \exp \left[-0.256 * m_s * \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \right), \quad (\text{Eq. III. 4})$$

$$\circ f_{cl-si} = \left(\frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \right), \quad (\text{Eq. III. 5})$$

$$\circ f_{orgc} = \left(1 - \frac{0.25 * orgC}{orgC + \exp[3.72 - 2.95 * orgC]} \right), \quad (\text{Eq. III. 6})$$

$$\circ f_{hisand} = \left(1 - \frac{0.7 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp[-5.51 + 22.9 * \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \right), \quad (\text{Eq. III. 7})$$

Où ;

- m_s est le pourcentage (%) de sa teneur en particules de sable (0,05 à 2,00 mm de diamètre);
 - m_{silt} indique la teneur en limon (0,002 à 0,05 mm de diamètre) ;
 - m_c indique la teneur en argile (< 0,002 mm de diamètre) ;
- et $orgC$ est le pourcentage de la teneur en carbone organique de la strate.

Les échantillons YK et Y représentent respectivement les textures de sol sableux et argileux de la couche arable recueillies dans la base de données harmonisée des sols du monde (Harmonized World Soil Database - HWSD) de la **F.A.O., (2012)** (**Tab. 40**).

Tableau 40. Estimation du facteur K dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra

Échantillon du sol	m_s (%)	m_{silt} (%)	m_c (%)	orgC (%)	f_{csand}	f_{ct-si}	f_{orgc}	f_{hisand}	K_{USLE}	K_{Value}
YK	63,5	17,9	18,7	0,26	0,200	0,147	1,000	0,986	0,029	0,029
YK	63,5	17,9	18,7	0,26	0,200	0,147	1,000	0,986	0,029	0,029
Y	49,2	26	24,8	0,33	0,200	0,154	0,999	0,999	0,031	0,340
YK	63,5	17,9	18,7	0,26	0,200	0,147	1,000	0,986	0,029	0,029
Y	49,2	26	24,8	0,33	0,200	0,154	0,999	0,999	0,031	0,340

YK: Sable et Y : Limon

III.1.1.3 LS-Facteur

La composante topographique (LS) se compose de deux éléments, à savoir la longueur de la pente (L) et son degré d'inclinaison (S), qui ont un grand impact sur les flux d'eau et donc sur l'érosion induite par l'eau, en général. Quand la longueur et le degré d'inclinaison de la pente du bassin versant sont plus longs et plus raides, le débit et la vitesse du ruissellement augmentent. Dans ce travail, le modèle numérique d'élévation (MNE) de la région a été utilisé, extrait du modèle ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model) qui a été téléchargée de la plateforme de l'USGS (United States Geological Survey) accessible en 2018 (résolution 30 m) (**Fig. 50**). Ceci a nécessité de multiples prétraitements à partir de la base de données spatiales sur l'interface d'analyse du logiciel SIG. Tout d'abord, l'accumulation des flux (flow-acc) a été identifiée, ce qui nous permet de déduire la longueur de la pente (L). Dans la deuxième étape, nous avons estimé la pente, en utilisant l'outil Slope de Spatial Analyst Tools, qui sert à déterminer la respectivement l'exposant (m) et le facteur (S). La dernière étape est la combinaison des facteurs L et S.

Pour calculer le facteur topographique (LS), nous nous sommes appuyés sur la formule définie par **Wischmeier et Smith, (1978)**, qui a été appliquée par plusieurs chercheurs tels que : **Rodriguez et Suárez, 2010 ; Hajji et al., 2017 ; Djoukbala et al., 2018 ; Benselama et al., 2018 ; Koussa et Bouziane, 2019 (Eq. III.8)**.

$$LS = \left(\text{Flow Accumulation} * \frac{\text{Resolution}}{22.1} \right)^m * (0.065 + 0.045 * S + 0.0065 * S^2), \quad (\text{Eq. III. 8})$$

Où ; "S" ; correspondant à l'angle de la pente en (%) et "m" désigne un paramètre relatif aux différentes classes de pentes (**Tab. 41**).

Tableau 41. Valeurs de "m" relatives à chaque classe de pente ; Source **Wischmeier et Smith, 1978.**

Pente en (%)	<i>m</i>
> 5	0,5
3 – 5	0,4
1 – 3	0,3
< 1	0,2

III.1.1.4 Facteur C

Stone et Hilborn (2000) ont défini le facteur C, le facteur de végétation, et a comparé les pertes de terres dans le cadre d'un système de culture et de gestion spécifique, avec les pertes correspondantes dans un champ qui est constamment laissé en jachère. **Benchettouh et al., (2017)** ont considéré que le facteur de la couverture du sol (C) est le deuxième facteur majeur déterminant l'érosion des sols après la topographie. Nous considérons que le facteur de l'occupation des sols est le plus important puisqu'il regroupe les conditions qui sont les plus faciles à contrôler pour lutter contre l'érosion. Par conséquent, le paramètre (C) est un facteur étroitement lié à la conservation des paysages.

En général, les valeurs du facteur (C) proches de 0 sont attribuées aux zones à forte couverture végétale alors que celles qui sont proches de 1 correspondent à des terres nues (**Semwal et al., 2017**). Dans la présente étude, les données sur l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI) (date d'acquisition 09/03/2018) acquis de l'imagerie satellitaire Landsat 8 avec une résolution spatiale de 30 m ont été utilisés pour évaluer le facteur (C) et ainsi interpréter l'effet des différentes couches de végétation sur la perte de sol dans la zone d'étude (**Fig. 50**). Le NDVI a été déterminé à partir d'une combinaison de bandes SIG rouges et infrarouges. Nous avons utilisé la formule suivante qui a été utilisée par (**Djoukbala et al., 2018 ; Benselama et al., 2018**) pour calculer le paramètre (C) à partir de :

$$C = 0.9167 - NDVI * 1.1667 \quad (Eq. III. 9)$$

III.1.1.5 Pratiques agricoles et facteur de conservation des sols (P)

Le facteur (P) reflète les pratiques culturales utilisées (méthodes de gestion des terres, en particulier le sens du labour et l'orientation de la culture pour les terrains en pente) ainsi que des mesures de conservation des sols (reboisement et fixation des pentes). Cela permet de

réduire le volume et la vitesse des eaux de ruissellement et de favoriser l'infiltration en modifiant l'état structurel du sol, réduisant ainsi l'impact érosif (**Bouguerra et al., 2017**).

Ce facteur (P) varie en fonction des techniques de protection mises en œuvre au niveau du bassin versant, allant de 0 dans les zones les plus protégées à 1 dans celles où il n'y a pas de pratiques de conservation. Dans cette étude, le facteur P a été estimé sur la base du système de pente du bassin versant, et nous utilisons la valeur du facteur de pratique de soutien basé sur les méthodes de culture et la pente de **Shin (1999)**. Les valeurs de (P) sont reportées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 42. Valeurs du facteur P par type de culture et de pente (Source : **Shin, 1999**)

<i>Pente en (%)</i>	<i>Culture en banquettes</i>	<i>Culture en bandes</i>	<i>Culture en terrasse</i>
0,0 – 7,0	0,55	0,27	0,10
7,0 – 11,3	0,60	0,30	0,12
11,3 – 17,6	0,80	0,40	0,16
17,6 – 26,8	0,90	0,45	0,18
26,8 >	1,00	0,50	0,20

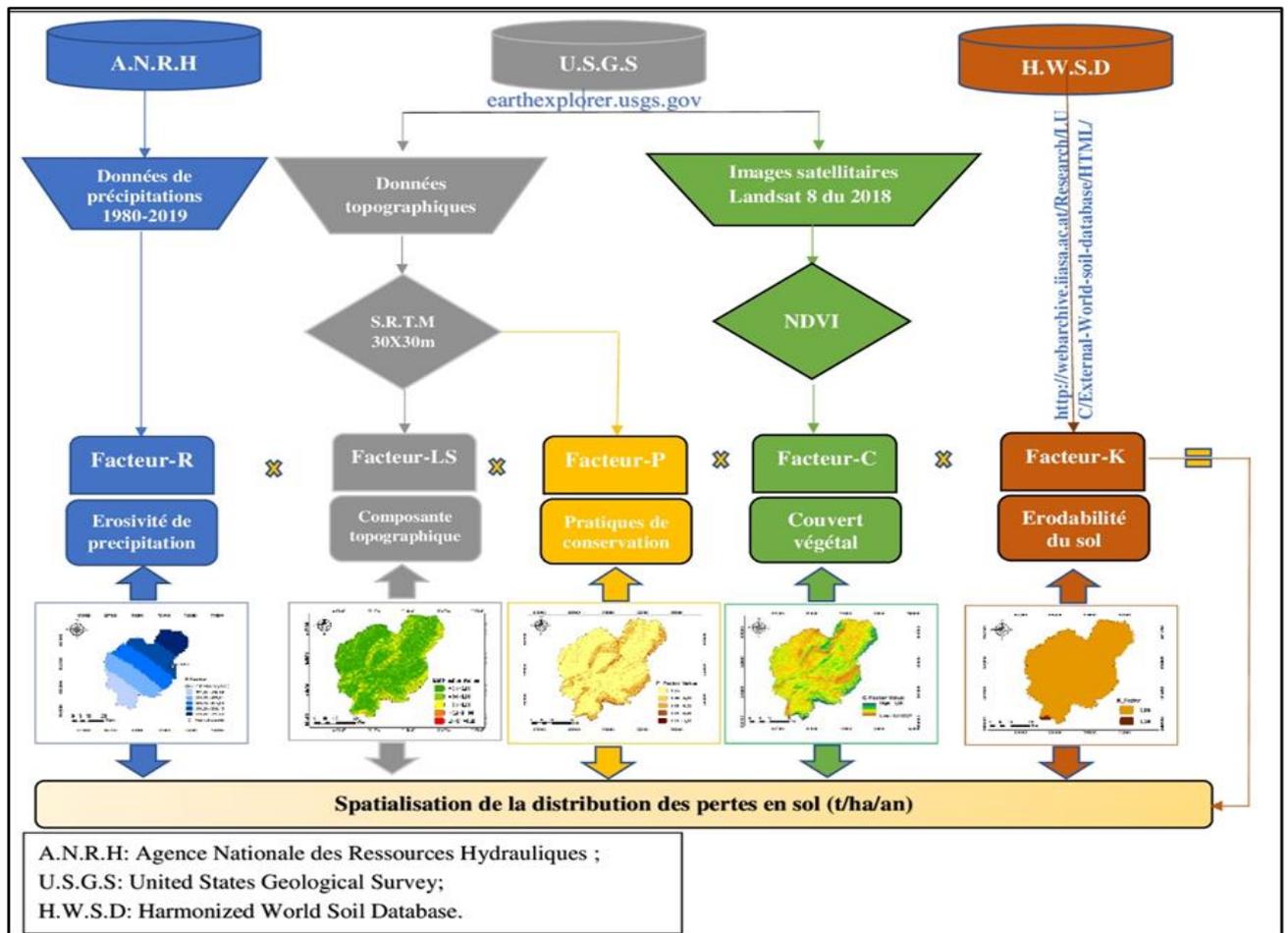


Figure 50. Organigramme de la méthodologie utilisée, basée sur l'équation RUSLE et le SIG

III.2. Résultats et discussions

Les paramètres que nous avons examinés sont énumérés ci-dessous :

III.2.1 Le facteur d'érosivité des précipitations (R)

La distribution spatiale du régime des précipitations dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, allant de 197,50 à 227,58 (MJ.mm/ha/h/an) et varie en fonction des caractéristiques de ces précipitations (**Fig. 51**). Cette répartition met en évidence une forte érosivité dans la partie Nord-Est du bassin, bien que les valeurs les plus basses se trouvent dans le Sud-Ouest du périmètre d'étude. En effet, cette répartition du facteur R sur le bassin versant se fait en plusieurs classes, par ailleurs, ce bassin est marqué par une forte agressivité climatique du Sud vers le Nord.

De ce fait on constate que 41% de sa surface est marquée par une forte érosivité, avec des valeurs de R allant de 214,26 à 227,58 (MJ.mm/ha/h/an). En revanche, une faible érosivité est observée avec des valeurs de R comprises entre 197,50 et 209,41 (MJ.mm/ha/h/an), touchant 38% de la surface du bassin. Les valeurs modérées des classes d'érosivité avec un facteur R de 209,42 à 214,25 (MJ.mm/ha/h/an) couvre le reste du bassin versant, soit environ 21 % de sa surface.

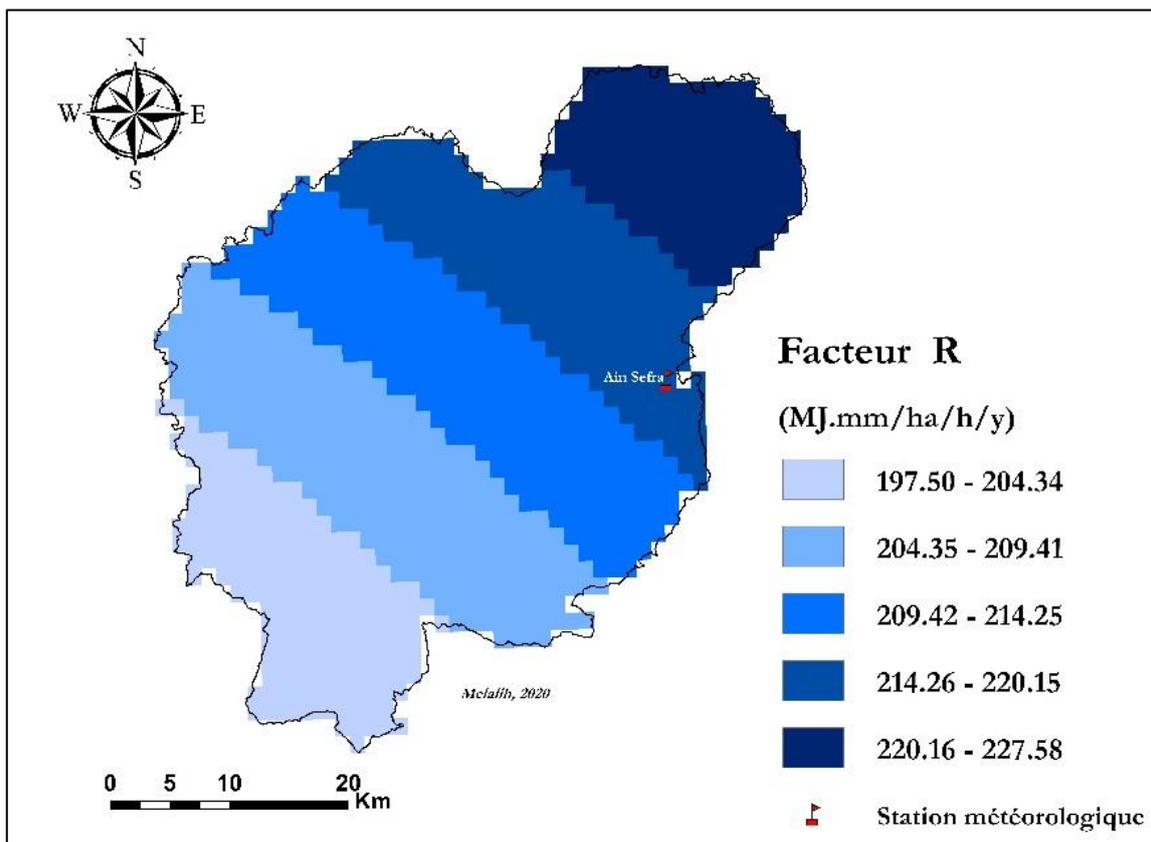


Figure 51. Carte des classes du facteur R du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

III.2.2 Le facteur d'érodabilité du sol (K)

Les valeurs du facteur d'érodabilité des sols (K) extraites de la base de données mondiale du HWSD pour le bassin versant de l'Oued Ain Sefra vont de 0,03 à 0,340 (t.ha.h/ha/MJ/mm) ; elles sont faibles sur l'ensemble du bassin versant, cela s'explique par la dominance d'une texture grossière des sols qui favorise l'infiltration des eaux de ruissellement (**Fig. 52**).

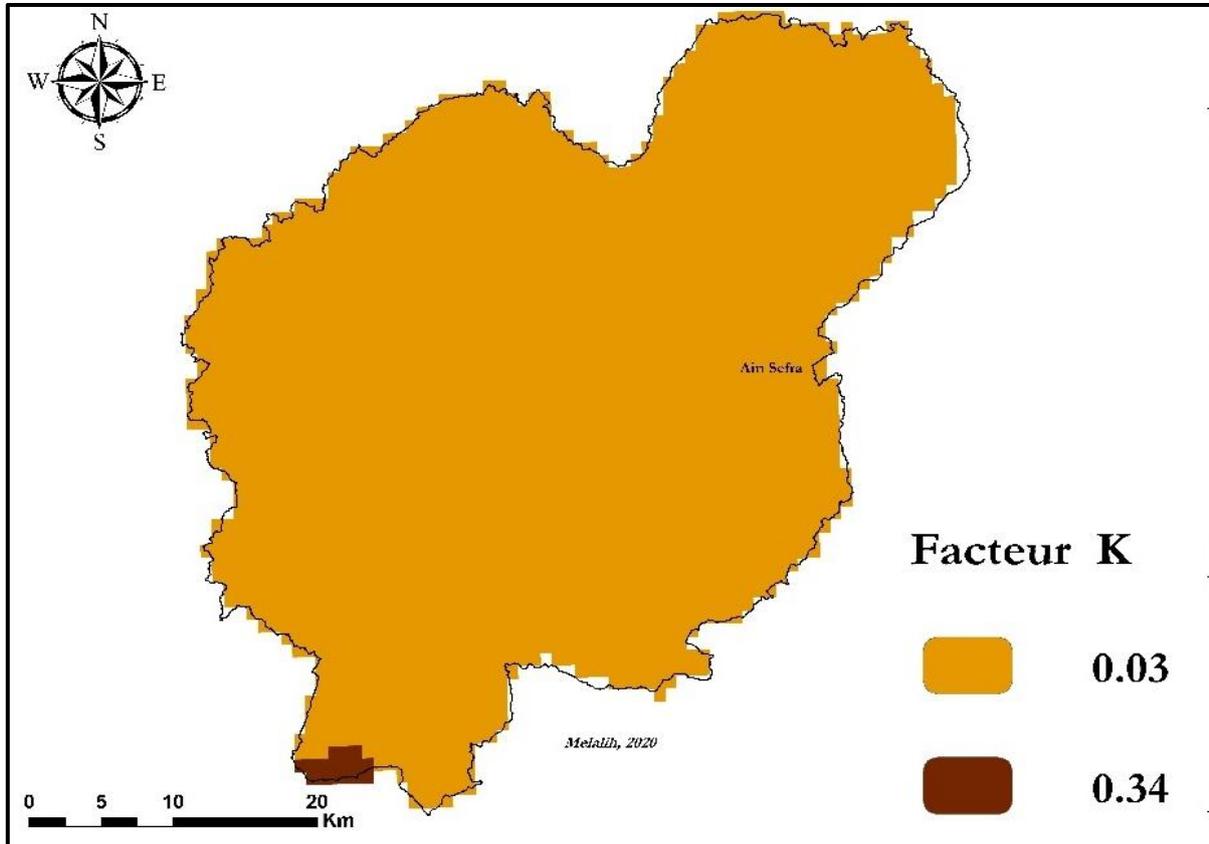


Figure 52. La carte du facteur K du bassin versant de l'Oued Ain Sefra

III.2.3 Facteur LS

Selon la distribution du facteur LS, les valeurs vont de 0,03 à 63,29 ; les plus élevées se trouvent dans les zones montagneuses sur les reliefs raides, où le sol est inégal et menacée par l'érosion. En revanche, des valeurs inférieures ($LS < 5$) sont enregistrées dans les zones centrale et partie nord-ouest du bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Les Valeurs LS considérées comme faibles (moins de 0,5) sont observées dans la plaine, et occupent la plus grande surface du bassin versant avec (89 %), correspondant à une faible altitude des zones plaines.

Cela s'explique par le relief assez hétérogène qui caractérise notre zone d'étude (**Fig. 53**).

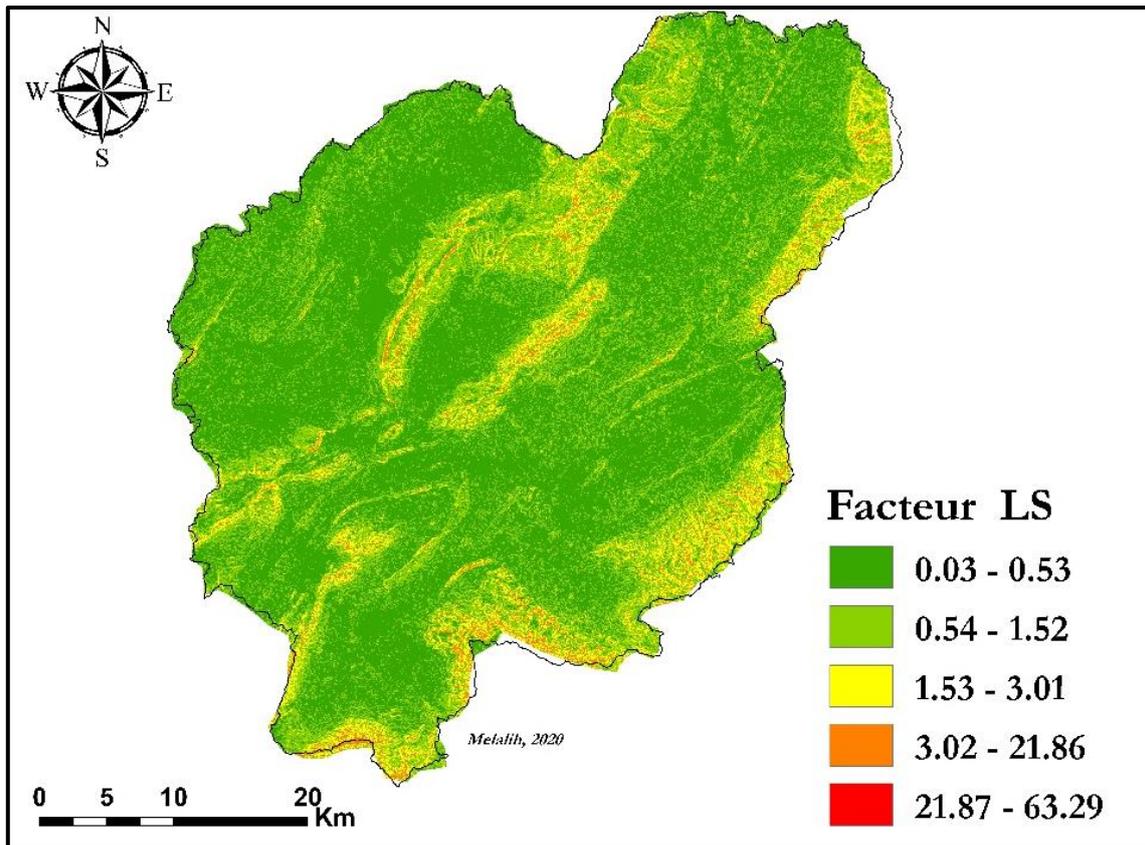


Figure 53. La carte du facteur LS du bassin versant de l'Oued Ain Seftra

III.2.4 Facteur du couvert végétal (C)

Les valeurs d'indice de la végétation par différence normalisée (NDVI) se situent dans la fourchette -1 à +1. Des valeurs négatives sont attribuées aux zones sans couverture végétale, telles que la neige, l'eau ou nuage, où la réflectance du rouge est plus élevée que celle du proche infrarouge (Soudi *et al.*, 2014). Puisque la réflectance est du même ordre de grandeur pour le rouge et l'infrarouge proche, la valeur NDVI est pratiquement nulle pour le sol nu. Les formations végétales ont une valeur positive de (NDVI), généralement entre 0,1 et 0,7. Les valeurs les plus élevées sont attribuées aux sols à couvert végétal dense, comme le montre la **figure 54**, les valeurs de NDVI varient entre - 0,22 et 0,47. Les faibles sont situées dans les sommets des djebels (forêts claires), tandis que les valeurs élevées correspondent aux terres avec une végétation variable (matorrals). L'activité agricole est concentrée sur les bords des Oueds au centre et au Sud-Est du bassin versant.

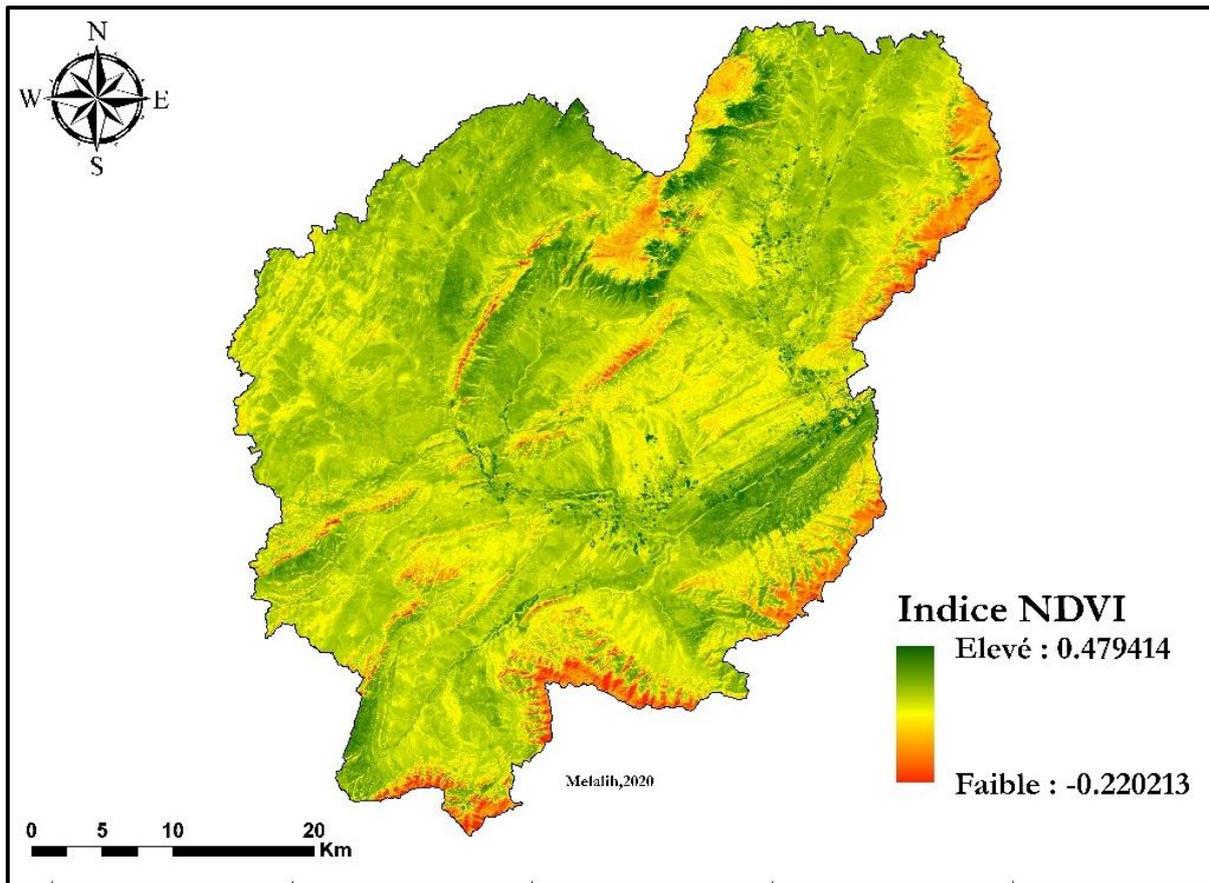


Figure 54. Valeurs de l'indice NDVI au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

La carte du facteur C (**Fig. 55**) montre la réaction des différents modes d'utilisation des terres au processus d'érosion. On constate que la valeur du facteur C sur l'ensemble de la zone d'étude en question est très variable, allant de 0,15 à 1. La plus grande partie de la zone d'étude (96%) a une très faible couverture végétale et seulement 4% de celle-ci est suffisamment bien protégée, avec un $C < 0,6$. Cette situation est due au surpâturage des parcours, aux forêts clairsemées menacées par le défrichement et surtout aux parcours occupés par les cultures céréalières, très sensibles à toutes les formes d'érosion (hydrique et éolienne).

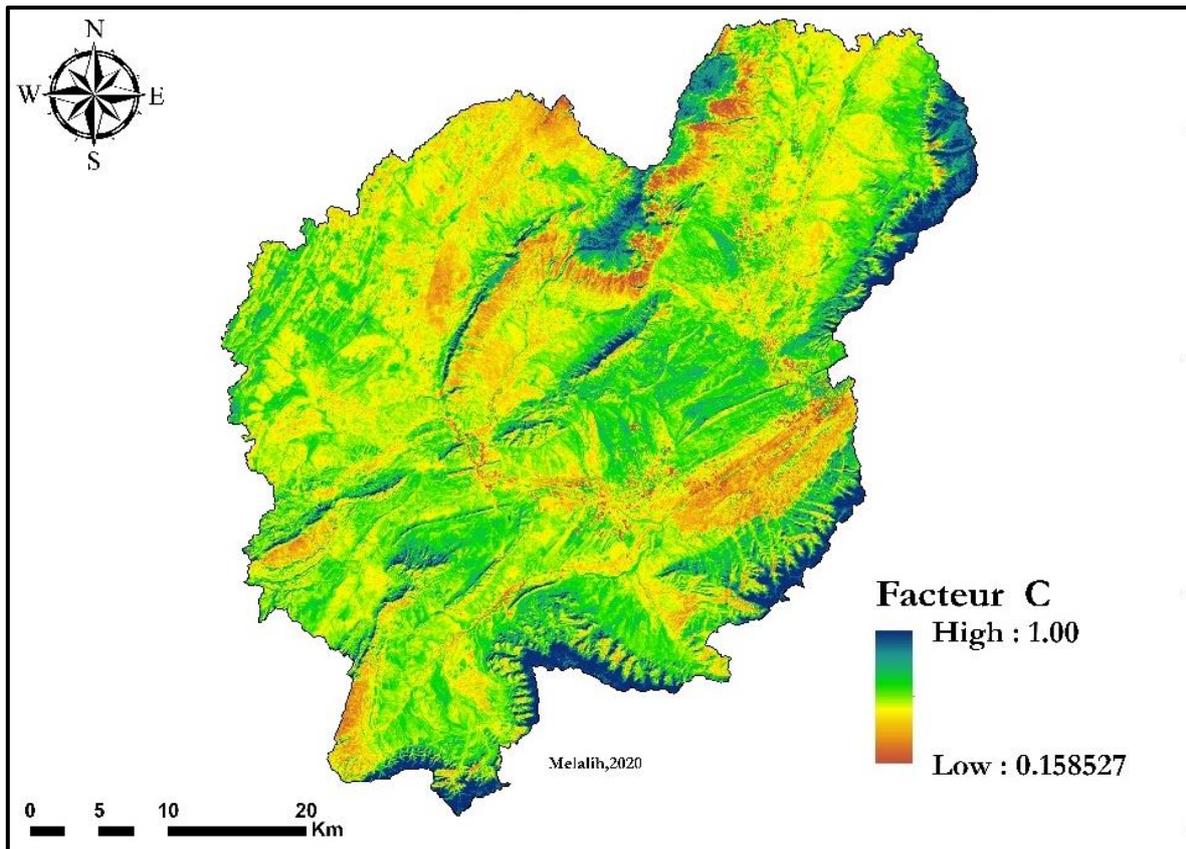


Figure 55. Cartographie du facteur C dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

III.2.5 Facteur de pratique de soutien et de préservation (P)

Comme le montre la **figure 56**, la valeur du facteur P de l'équation universelle révisée de la perte de sol pour le bassin versant de l'Oued Ain Sefra varie de 0,55 à 1 selon l'utilisation des terres et les pentes du terrain. Dans notre situation, les valeurs les plus élevées (0,60-1) sont justifiées par l'absence ou l'inadéquation des moyens et des pratiques de soutien dans 90 % du périmètre global du bassin versant. Sur les 10 % restants, les faibles valeurs de P (<0,60) sont réparties dans la partie centrale et nord-ouest du bassin versant, en association avec un faible relief.

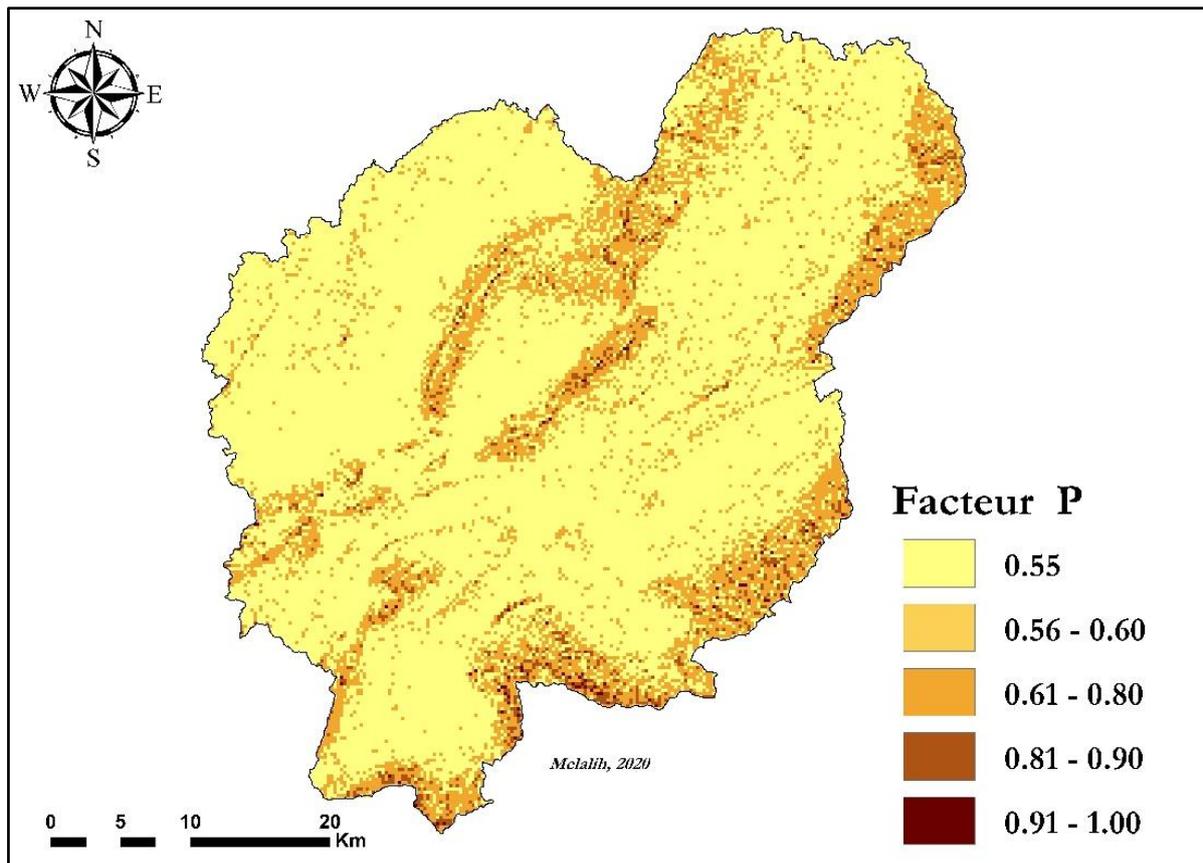
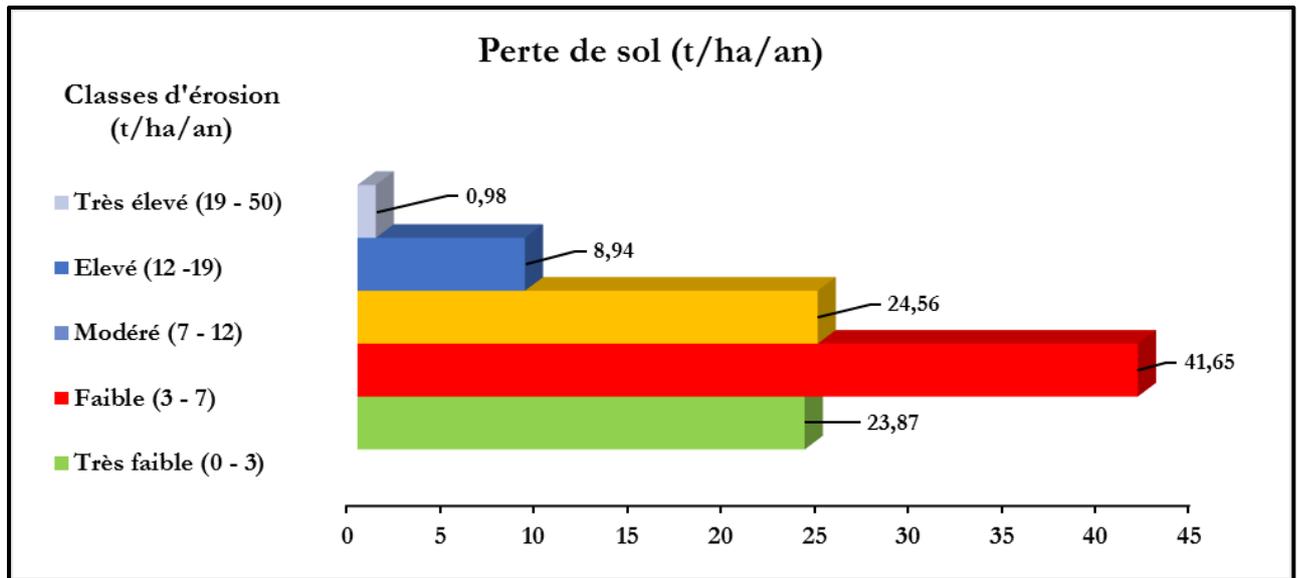


Figure 56. Cartographie du facteur P dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

III.3 Carte du risque potentiel de l'érosion

L'application du modèle RUSLE intégré au SIG nous a permis d'estimer la répartition spatiale de la perte en sol sur le bassin versant du l'Oued Ain Sefra. La **figure 57** présente les classes liées à la perte en sol du site d'étude.

Les résultats montrent qu'environ 23,87 % de la zone étudiée présente un très faible potentiel d'érosion (<3 t/ha/an), tandis que 41,65% de la zone étudiée présente un faible risque potentiel d'érosion (entre 3 et 7 t/ha/an), et 24. 56% de cette zone est classée sous un risque potentiellement modéré (entre 7 et 12 t/ha/an), 8,94% sous un risque potentiellement élevé (entre 12 et 19 t/ha/an), et enfin 0,98% est classé dans la catégorie des risques potentiellement très élevés (supérieurs à 19 t/ha/an). La perte moyenne du sol dans notre bassin versant est estimée à 5,2 (t/ha/an).



Figurer 57. Taux de perte du sol par classes pour le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Selon les données de la carte des risques d'érosion (**Fig. 58**), cette menace ne se manifeste pas elle-même sous une forme homogène dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra. Elle est jugée faible à modérée sur les 171 457,15 ha, qui représentent 90,08 % de la superficie totale du bassin versant, qui sont situés dans un relief à faible LS et avec un couvert végétal modéré à élevé (C). Pour le reste du bassin versant (9,02%), la situation devient plus préoccupante et les risques d'érosion sont classés comme élevée à très élevée, en particulier dans la partie centrale et Sud-Est du bassin où des valeurs élevées pour l'érosivité des précipitations ($R > 209$) et l'érodabilité du sol ($K > 0,03$), avec relief très accidenté ($LS > 3$) associé à une couverture végétale modérée ($C > 0,30$) ainsi que l'impact des pratiques agricoles non contrôlées ($P > 0,60$) qu'il est spécifique.

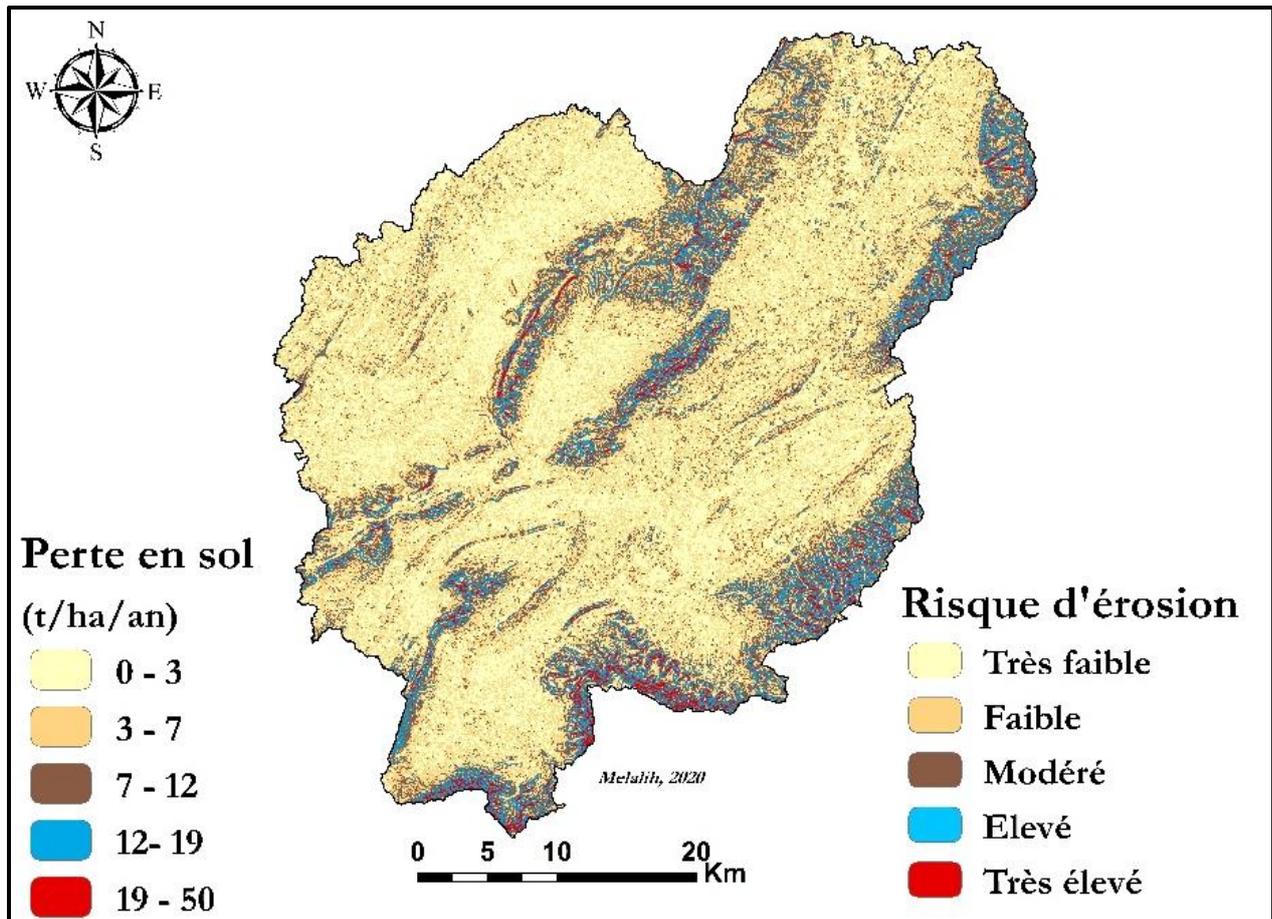


Figure 58. Carte des pertes du sol (t/ha/an) et classes de risque d'érosion dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Ces résultats diffèrent de ceux que l'on trouve dans de nombreux bassins versants algériens, tels que l'Oued Mina (11,2 t/ha/an) (**Benchettouh et al., 2017**), l'Oued Boumahdane (11,18 t/ha/an) (**Bouguerra et al., 2017**), ainsi que dans le bassin versant de l'Oued Sahouat dont les pertes potentielles en sol sont estimées entre 12 et 16 t/ha/an (**Toubal et al., 2018**), ou dans l'Oued El Maleh avec 9 (t/ha/an) (**Benselama et al., 2018**).

Mais ils sont également compatibles avec les résultats d'autres études effectuées sur l'érosion hydrique. Les problèmes rencontrés dans les zones montagneuses où le climat et l'environnement sont similaires. La région de Khanechela, le bassin versant de K'sob présente une perte annuelle moyenne de 4,6 t/ha/an (**Benkadja et al., 2015**) ; ils indiquent également que les régions de Masàad et de Hassi Bahbeh sont soumises à une forte érosion, entraînant des pertes annuelles comprises entre 1,5 et 23 t/ha/an (**Koussa et Bouziane, 2018**) ; ainsi que dans l'Oued El-Ham de 5,7 (t/ha/an) (**Djoukbala et al., 2018**) ; et dans le bassin versant du Bou Namoussa de 7,8 (t/ha/an) (**Bouhaddeb et al., 2018**).

Les résultats montrent que les sols de la région de Ain Sefra sont soumis à l'action divers facteurs favorisant le mécanisme d'érosion, notamment la dégradation du couvert végétal par le surpâturage et l'extension des cultures céréalières aléatoires au profil de plantes pérennes.

Ces résultats permettent également d'améliorer la gestion des terres en luttant contre l'érosion par des programmes conçus pour combattre efficacement contre les effets de l'érosion hydrique, grâce à une prise de décision adéquate préserver l'environnement de manière durable et à assurer un équilibre entre l'agriculture, élevage et les ressources potentielles et naturelles en eau et en sol.

Conclusion

Cette étude montre l'application du modèle empirique pour estimer la distribution de l'érosion des sols dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra en couplant le modèle RUSLE avec un SIG, afin de déterminer les différents types d'érosion et les secteurs les plus touchés et de quantifier la dégradation spécifique des sols. Cette dernière a été estimée entre 0 et 50 t/ha/an sur l'ensemble de la zone d'étude, entraînant une perte de sol annuelle moyenne de 5,2 t/ha/an.

Il est également noté que les pertes de sol sont fortement liées au degré d'érosivité des précipitations ainsi qu'à la densité du couvert végétal en interaction avec plusieurs facteurs, principalement la prédominance de sols fortement érodables combinée à une agriculture et à un pâturage intensif, qui entraîne la disparition des peuplements végétaux au profit de cultures céréalières anarchiques. À cela s'ajoute l'insuffisance ou l'absence au niveau de la région des moyens nécessaires pour lutter efficacement contre le phénomène d'érosion hydrique.

Selon les résultats obtenus, environ 23,87 % de la zone étudiée présente un très faible risque d'érosion potentiel (<3 t/ha/an), 41,65 % a un risque d'érosion potentiel faible (entre 3 et 7 t/ha/an), et 24. 56% de cette zone se trouvent dans la catégorie de risque potentiel modéré (entre 7 et 12 t/ha/an). Le risque potentiel d'érosion est élevé (entre 12 et 19 t/ha/an) sur 8, 94% de la zone étudiée, alors que sur seulement 0,98% du bassin versant de l'Oued Ain Sefra, le risque potentiel d'érosion est très élevé (plus de 19 t/ha/an).

Les résultats apportent un support précieux aux décideurs et aux responsables du développement pour la simulation de scénarios de l'évolution de la dégradation des terres dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra mais aussi, et surtout, pour la planification et la programmation d'actions antiérosives pour toute la région présaharienne des Monts de Ksour. Il convient de souligner que nous manquons des études de ce genre qui nous permettraient d'estimer les pertes en sol dues à l'érosion hydrique dans ces régions arides.

En effet, le modèle RUSLE a prouvé son efficacité en tant qu'outil pratique et modulaire dans ce domaine. Avec ce système, il devient possible d'analyser l'évolution de l'érosion généralisée de ces sols et de fournir des données de base pour prévenir les pertes de sol pour cette région, tout en fournissant aux décideurs un ensemble d'informations utiles pour la mise en place de programmes de conservation des sols et de l'eau dans le futur, au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en particulier, et dans la région en général.



CHAPITRE IV

Analyse des techniques de conservation
de l'eau et des sols

Chapitre IV Analyse des techniques de conservation de l'eau et des sols

Introduction

En Algérie, une dégradation de l'environnement est très évidente, et plus particulièrement dans les zones steppiques. Ces régions, où les ressources pastorales constituent une des principales sources de revenus pour la population locale, sont soumises en permanence à une dégradation accélérée qui affecte essentiellement la ressource pâturage ainsi que les périmètres agricoles. Cette dégradation ne cesse d'augmenter avec précarité des conditions climatiques locales notamment la sécheresse, l'érosion et la désertification. Cette situation hypothèque les revenus déjà faibles de ces populations pastorales et encourage également le développement d'une course effrénée pour la maîtrise des ressources naturelles en l'absence de règles juridiques claires permettant d'organiser la gestion et les usages des terres steppiques.

Les versants arides de l'Algérie présentent de sérieux problèmes environnementaux, notamment de dégradation des terres, de gestion des ressources en eau, de conservation des sols et d'aménagement des couvertures végétales. Ce dysfonctionnement se traduit par plusieurs manifestations telles que l'érosion des sols, la diminution de la qualité et de la quantité des eaux, la perte de la diversité biologique, partiellement liées à l'accélération de la dégradation des versants. Dans le but d'améliorer les conditions environnementales des bassins versants, l'état et les paysans ont fait depuis longtemps des efforts de restauration et de protection, par le biais d'aménagement des terres. Il s'agit de valoriser toute une série de pratiques et de techniques nouvelles et traditionnelles visant la sauvegarde des ressources en eau et en sol. Ce travail est basé sur l'identification et l'analyse des techniques de conservation des eaux et des sols existants au niveau du bassin versant aride de l'Oued Ain Sefra, aussi bien sur les terres mises en culture que sur les terrains de parcours et les espaces forestiers.

Plusieurs études menées sur la steppe algérienne ont confirmé la persistance d'une dégradation dans le temps et dans l'espace des ressources naturelles de ces régions arides. Générée par l'agressivité des différents facteurs environnementaux et les besoins de la population locale qui exploite massivement ces ressources. Les différents auteurs qui ont confirmé la nécessité de préserver aujourd'hui qu'avant ce patrimoine non renouvelable en adoptant une politique sérieuse et urgente pour cette région notamment : **Le Houérou *et al.* (1979, 1995), Pouget (1980), Djebaili (1984), Halitim (1985), Nedjraoui *et al.* (1999), Berkal (2006), Aïdoud *et al.* (2006), Bensaid (2006), Hirche *et al.* (2007), Chalabi (2008), Merzouk *et al.* (2009), Haddouche (2009), Regagba (2012), Boumaraf (2013), Benaradj (2017), Djellouli *et al.* (2016), Bouarfa (2019).**

Dans ce travail, nous avons voulu démontrer les principales causes de dégradation du sol par l'érosion hydrique dans un contexte d'aridité et évaluer l'impact de quelques techniques et aménagements antiérosifs dans les sites de Sfissifa, Belguered et Ain Sefra sur la conservation de l'eau et du sol et l'amélioration de la productivité agricole.

IV.1 Matériel et méthodes

La question sur la pertinence des techniques antiérosives reste contestable et demande que les différents types de techniques antiérosives "traditionnelles ou nouvelles" soient analysés et développés dans la perspective d'une nouvelle approche intégrant tous les facteurs de risque, de même que les impératifs de la production agricole, les mesures de protection des infrastructures stratégiques ainsi que les enjeux environnementaux.

Le périmètre d'étude est fortement menacé par l'érosion. La vigueur du relief et l'agressivité du climat intensifient énormément ce phénomène, sans oublier la pression anthropozoïque modifiant la couverture végétale par l'extension de la céréaliculture et des pâturages et entraînant des conséquences graves et parfois irréversibles sur le milieu naturel.

Ceci nous a amené à examiner les aménagements de CES au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en vue d'établir leur situation actuelle, spatialisation et voire leur comportement et se prononcer sur leur efficacité.

La méthode utilisée s'inscrit dans une démarche descriptive et explicative. Elle est basée sur l'exploration et l'observation sur le terrain des techniques et/ou pratiques de conservation des eaux et des sols rencontrées dans la zone de l'étude pour la période 2012-2018. Tenant compte les terres cultivées et des parcours sont plus exposées aux processus d'érosion hydrique (sol sans couverture végétale durant la plus grande partie de l'année, particules détachées par l'action du labour, augmentation de l'infiltration).

Plusieurs études qui ont été menées dans le territoire national dans les zones arides et semi-arides et ont fait l'objet d'étudier le comportement de quelques techniques de conservation de l'eau et des sols : **Hammoudi et al., 1994**; **Mazour et al., 2006** (Nord-Ouest Algérien), **Morsli et al., 2006** (Monts de Beni Chougrane), **Hammoudi et al., 2006** (région Est de l'Algérie), **Arabi, 2004** (Haut-Chelif), **Habi et Morsli, 2011** (L'Oued Tafna de Tlemcen et l'Oued El Hammam de Mascar), **Melalih, 2012** (région aride de Ain Sefra), **Mazour et al., 2012** (région de Béni Snous, Honaine et Zouanif), **Fecih et al., 2018** (région de Béni-Snous)...., durant une période allant au-delà d'une décennie d'observation et de suivi sur le terrain, dont l'approche méthodologique est principalement basée sur les observations et ainsi que sur les analyses qualitatives et quantitatives des techniques employées.

Les explorations sur le terrain ont été conduites par le biais d'enquêtes auprès de plusieurs paysans qui font eux-mêmes les pratiques conservatoires. La classification des techniques est inspirée de l'approche qui fait distinction entre les pratiques développées par les agriculteurs (traditionnelles) et celles introduites par l'administration de l'Etat (nouvelles).

L'approche méthodologique suivie pour la réalisation de ce travail est la suivante :

- **L'identification et la classification des techniques de conservation de l'eau et des sols (traditionnelles et nouvelles)** : l'identification est basée sur des explorations de terrain et ainsi que sur l'examen des enquêtes préétablies des questionnaires (voir annexe. 1) ;

- **La spatialisation (localisation et répartition des aménagements dans l'espace)** de quelques techniques de conservation de l'eau et des sols (mise en défens, ouvrages hydrauliques, aménagements biologiques et mécaniques) est réalisée par l'utilisation du GPS et du logiciel ArcGis.

- **Analyse du comportement des aménagements et évaluation de leur efficacité**

Ce choix est basé sur les critères suivants :

- * La présence d'une grande variété de techniques traditionnelles et nouvelles ;
- * La présence d'un grand investissement. Cette zone a fait l'objet de plusieurs aménagements antiérosifs depuis les années quatre-vingt.

Pour faire une synthèse de l'état des connaissances sur les techniques d'aménagements antiérosives concernant le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, nous avons consulté des thèses et des mémoires universitaires, des articles publiés dans des revues spécialisées et des rapports effectués par la direction de conservation des forêts, l'Agence nationale des ressources hydriques, la direction de l'environnement, la direction de la programmation et du Suivi Budgétaires, le haut-commissariat au développement de la steppe et la direction des services agricoles de la wilaya de Naâma.

L'analyse et l'évaluation des aménagements sont effectuées sur la base de plusieurs critères :

- Conception et confection ;
- Stabilité, adaptabilité ;
- Rentabilité, durabilité et la reproductibilité ;
- Coût et efficacité;
- Entretien et suivi des aménagements;
- Impact des aménagements.

Cette étude a nécessité l'établissement d'un questionnaire pour faciliter l'analyse et l'évaluation. Le questionnaire a été élaboré pour rassembler plus d'information concernant

l'inventaire et l'analyse des aménagements réalisés dans notre bassin versant (**Annexe. 1**).

Quelques aspects socio-économiques particuliers de ces zones ont été pris en considération, notamment l'organisation du travail collectif (Touiza) surtout dans l'entretien des différents aménagements ruraux, ainsi que la pratique agricole dans le but de restaurer la productivité et d'inverser la dynamique régressive de la dégradation vers une dynamique progressive de conservation de l'eau et du sol et l'amélioration de la production agricole locale.

IV.2 Résultats

Sur le terrain, on constate que les actions entreprises dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra visant la conservation des eaux et des sols sont nombreuses et diversifiées. Ces techniques peuvent être classifiées facilement selon les pratiques traditionnelles introduites par les agriculteurs au niveau de la parcelle, ainsi que les techniques nouvelles mises en œuvre par l'Etat dans un niveau plus étendu, à l'échelle du bassin versant. Dans chaque groupe, les différentes techniques ont été classifiées sur la base de son extension.

IV.2.1 Les pratiques traditionnelles menées par les paysans

Dans le but de gérer convenablement les terres et de dissiper l'énergie du ruissellement, les aménagements antiérosifs traditionnels et, particulièrement les terrasses irriguées, sont utilisés dans la région (Sfissifa et D'zira à Ain Sefra) et ont montré une bonne efficacité contre le ruissellement et l'érosion.

Il s'agit des constructions qui arrivent à casser la pente et permettent une augmentation de l'infiltration et une valorisation des terrains en pente. Ce sont des techniques de soutènement adaptées selon les conditions du relief et la disponibilité des pierres, soit par des talus en terres, soit par des murs en pierre. Cet aménagement se trouve souvent aux fonds des vallées, la plupart des cas en colonisant les propres terrasses du lit majeur des oueds. Ces constructions dépendent aussi des besoins de l'agriculteur et du niveau de productivité ou du rendement escompté.

Malheureusement, certaines de ces installations sont fortement endommagées depuis quelques années en raison du régime pluvial intense qui y règne par manque d'entretien régulier. Cela vaut aussi pour les autres techniques traditionnelles telles que les murettes, les cordons en pierre, les murs en toub et les ouvrages hydrauliques (Madjen, Séguia).

L'utilisation des techniques en pierres dans les terres en culture ne se limite pas aux terrasses, donc les paysans construisent des cordons en pierres sèches suivant les courbes de niveau et des murs en toub. Ils permettent à la fois de réduire le ruissellement et sa vitesse, d'améliorer la captation des eaux dans le sol et de piéger les particules fines du sol qui sont mobilisées depuis l'amont des versants par l'érosion hydrique.

D'autres techniques consistent à stocker l'eau dans des Madjens, qui permettent aux agriculteurs de disposer de réserves d'eau pour irriguer leurs parcelles. Selon les moyens économiques de l'exploitant, ces systèmes sont plus ou moins développés, par exemple, avec des tuyaux ou seguia construits soit en terre ou en béton pour conduire et distribuer l'eau depuis le Madjen jusqu'aux emplacements des terrains mis en culture.

Le paysan construit et installe aussi des petites cuvettes d'irrigation (Guemoun) en forme carré ou bien rectangulaire et des billons avec la finalité de retenir l'eau provenant de l'amont pour faciliter l'infiltration au profit des cultures devant une richesse du sol en humus.

Par ailleurs, les paysans développent d'autres pratiques culturales moins visibles et non généralisées, mais très importantes à l'échelle de la parcelle. Les plus remarquables sont des cultures en billon, travail à l'araire, des haies vives, des rideaux de roseaux et l'utilisation de fumier. L'efficacité des techniques culturales est strictement liée aux conditions économiques des sociétés (Roose, 2004).

IV.2.2. Les techniques nouvelles introduites par l'Etat

Conscient des graves problèmes d'érosion et d'inondation générés dans notre zone d'étude, L'Etat a entrepris plusieurs projets visant à réduire ces contraintes dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra, à travers des techniques plus coûteuses que les pratiques menées par les paysans.

Parmi les techniques que l'on trouve au niveau du versant, entreprises en majorité par les services de l'hydraulique, direction générale des forêts et le Haut-commissariat au développement de la steppe (H.C.D.S), les plus importantes sont :

IV.2.2.1 La construction des aménagements anti érosifs mécaniques

Dans le cadre des travaux de correction torrentielle et de protection contre les crues des Oueds Tirkount et El Breidj, la stabilisation de berges ou même des fonds des ravins dans le but d'éviter l'élargissement du lit, l'Etat a entrepris plusieurs types d'aménagements mécaniques ; des seuils en gabion et en pierres sèche. Dont l'objectif principal sera généralement la réduction du débit solide et la régulation des écoulements. Ainsi, pour stocker les sédiments mais surtout pour rehausser le fond de la ravine et rétablir la pente d'équilibre des versants, cela permettra ainsi d'installer une végétation naturelle et d'arrêter les foyers d'érosion, la construction des barrages collinaires, aménagement des berges par des seguias et l'aménagement des pistes (Tab. 43).

La lutte mécanique est indispensable et efficace temporairement mais exige une fixation biologique rapide des atterrissements, des versants et de l'amont des ravines.

Tableau 43. Récapitulation des aménagements mécaniques réalisés au bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

Types d'aménagements	Unité	Volume réalisé	Nombre	Observation
Seuils en gabion	m ³	94 600	3 378	
Seuils en pierre sèche	m ³	3 900	186	
Retenues collinaires	m ³	11 705 255	15	HCDS
Fixation des berges « seguia »	ml	4000		Programme PPDRI
Aménagement des pistes	Km	120		

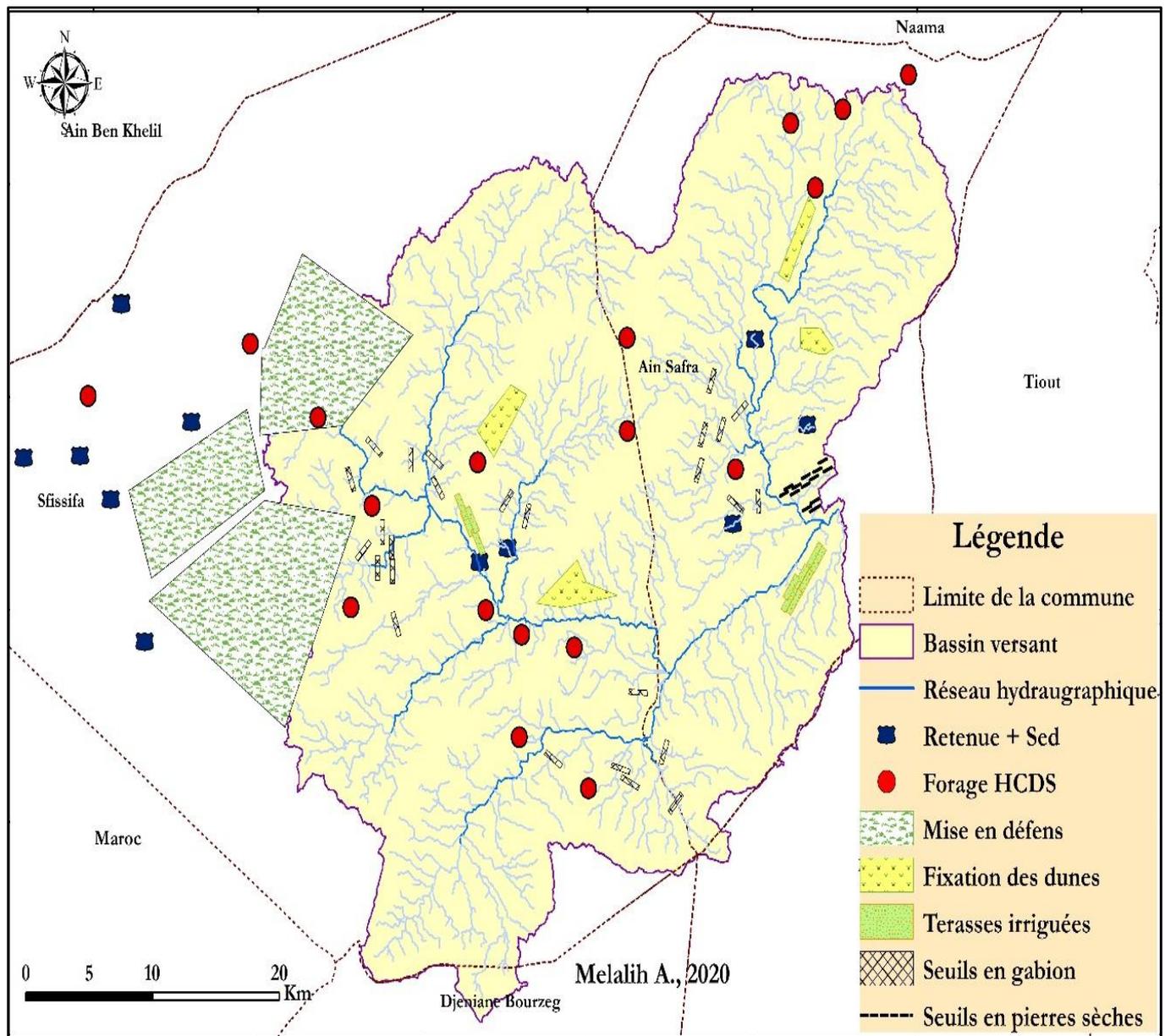


Figure 59. Carte de répartition des aménagements hydrauliques à travers notre zone d'étude

IV.2.2.2 Les aménagements antiérosifs biologiques

Notre zone d'étude a également bénéficié des aménagements antiérosifs biologiques, de nombreuses plantations sont réalisées notamment dans les piémonts des djebels, même si son taux de réussite reste faible, mais elles prouvent leurs efficacités à remédier certaines situations (Fig. 60).

a. Le boisement par les arbres et les arbustes fourragers : parmi les espèces plantées :

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*), Févier d'Amérique (*Gleditsia Tricanthos*), le pistachier de l'atlas (*Pistacia atlantica*) et l'Atriplex.

b. La fixation biologique de dunes :

Cette forme de plantation réalisée à base de Tamarix (*Tamarix Afila* et le *Tamarix gallica*) est destinée à la fixation des voiles dunaires qui menacent les agglomérations, les infrastructures routières et les exploitations agricoles, a prouvé dans plusieurs impacts son efficacité de protection par sa grande résistance aux conditions pédoclimatiques de la région (Tab. 44).

c. La plantation de brise-vent

Les espèces qui ont prouvé une bonne efficacité sont le Casuarina et le Cyprès (Tab. 44).

d. Les plantations d'alignement

Les espèces utilisées principalement sont : le Tamarix, le Robinier, le Frêne et l'Eucalyptus.

e. La mise en défens

C'est un aménagement des parcours par la mise en repos pendant une période précise de 3 à 5 ans selon le cas afin de permettre une régénération du couvert végétal, ce qui favorise par la suite une augmentation de l'offre fourragère des parcours. C'est un instrument efficace de la régénération des steppes. On peut citer à titre d'exemple : la mise en défens de Noufikha, Tala et Larouiya (Sfissifa) (Tab. 44) et (Fig. 60).

f. Mise en valeur rationnelle des terres

Par l'utilisation des bonnes pratiques agricoles (diversifier les productions, utiliser les bonnes techniques d'irrigation, éviter la pratique de la céréaliculture en sec et respectant la capacité de charges des sols) et l'installation d'une culture pérenne (plantation fruitière) permet la fixation du sol, un revenu économique aux agriculteurs et l'amélioration de l'écosystème. Parmi ces espèces fruitières rustiques on peut citer l'amandier, l'olivier, le pommier, le poirier, le prunier, l'abricotier, le figuier, le grenadier. Les plantations d'olivier présentent un taux de réussite relativement important.

Tableau 44. Récapitulation des aménagements biologiques (reboisements) réalisés durant la période (1986- 2014) (Source : C.F., 2015)

Action	Volume	Programme	Observation
Création des bandes vertes	280 Ha	Sectoriel	Dont 50 ha entretenus
Plantation fruitière	380 Ha	Sectoriel	156 Fellahs bénéficient
Brise vent	562 Kml	Sectoriel	Casuarina et Cyprès
Fixation biologique des dunes	2 860 Ha	Sectoriel	Tamarix l'espèce la plus répandue
Mise en défens	50 000 Ha	HCDS	



Figure 60. Différentes techniques antiérosives biologiques introduites dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra.

IV.3 Discussion

IV.3.1 Comportement des ouvrages et structures traditionnels de conservation de l'eau et du sol

Les résultats d'analyse montrent que les techniques développées par les riverains permettent de gérer et de gagner des espaces cultivables et contribue aussi à la réduction de l'érosion. Les résultats du comportement des aménagements traditionnels de conservation de l'eau et du sol en fonction de l'efficacité, la stabilité, la durabilité, la reproductibilité, la productivité, le leur comportement vis à vis du ruissellement et de l'érosion sont présents dans les tableaux 45, 46 et 47.

Tableau 45. Résultats de l'analyse des techniques traditionnelles « Zone de Sfisifa »

Facteurs analysés	Nombre	Efficacité	Stabilité	Reproductibilité	Durabilité	Productivité agricole	Coût
Aménagements antiérosifs traditionnels							
1. Ouvrages et structures	63						
Terrasses	10	+	+	+	+	+	++
Cordon en pierre	10	+	+	+	+	+	+
Murs en Toub	20	++	+	+	+	++	+
Seguias	20	++	++	++	++	++	++
Madjen	03	++	++	++	++	++	+
2. Techniques culturales	40						
Utilisation de fumier	20	++	++	++	++	++	++
Cuvette d'irrigation	20	++	++	++	++	+	-
Total	103						
Impact : ++ impact très positif, + impact moyennement positif, - pas d'impact,							
Coût de réalisation : ++ coûteux + moyennement coûteux - moins coûteux							

Tableau 46. Résultats de l'analyse des techniques traditionnelles « Zone de Belguered »

Facteurs analysés	Nombre	Efficacité	Stabilité	Reproductibilité	Durabilité	Productivité agricole	Coût
Aménagements antiérosifs traditionnels							
1. Ouvrages et structures	10						
Seguias	10	++	++	++	++	++	++
2. Techniques culturales	88						
Cultures associées	20	++	+	+	+	++	+
Cultures en billon	20	++	+	++	+	++	+
Rotation des cultures	03	++	++	++	+	+	-
Clôtures en haies vives	20	++	++	++	+	++	+
Utilisation de fumier	15	++	++	++	++	++	+
Cuvette d'irrigation	10	++	++	++	++	+	-
Total	98						
Impact : ++ impact très positif, + impact moyennement positif, - pas d'impact,							
Coût de réalisation : ++ coûteux + moyennement coûteux - moins coûteux							

Tableau 47. Résultats de l'analyse des techniques traditionnelles « Zone de Ain Sefra »

Facteurs analysés	Nombre	Efficacité	Stabilité	Reproductibilité	Durabilité	Productivité agricole	Coût
Aménagements antiérosifs traditionnels							
1. Ouvrages et structures	41						
Terrasses	20	++	++	++	++	++	++
Madjen	01	++	++	++	++	++	+
Seguias	20	++	+	++	++	++	+
2. Techniques culturales	60						
Cultures en billon	10	++	++	++	+	++	-
Cultures associées	10	++	+	+	+	++	+
Utilisation de fumier	20	++	++	++	++	++	+
Cuvette d'irrigation	20	++	++	++	++	+	-
Total	101						
Impact : ++ impact très positif, + impact moyennement positif, - pas d'impact, Coût de réalisation : ++ coûteux + moyennement coûteux - moins coûteux							

L'analyse des aménagements traditionnels montre que les terrasses sont des techniques très utilisées sur des pentes très fortes, de dimension très variable. Les dimensions dépendent essentiellement de la part de propriétaires, de la pente et de la profondeur du sol et se trouvent généralement limitrophe au ksar de Sfissifa et D'zira à Ain Sefra). Leur stabilité est liée à une bonne infiltration et/ou évacuation de l'eau, ainsi à une combinaison d'une gamme de mesures biologiques et pratiques culturales ou à une association avec des structures (terrasses avec les murs en toub).

Mazour et al., 2008, à signaler que les terrasses et les structures associées (murets et terrassettes) sont réalisées pour améliorer le travail du sol tout en assurant aux parcelles aménagées une protection contre l'énergie du ruissellement.

Pour ce qui est des cuvettes, elles se présentent sur le terrain sous deux types : cuvette en carré et cuvette triangulaire (très présentes dans toute la région d'étude surtout dans les communes de Sfissifa et de Ain Sefra). Ces types d'aménagements utilisés pour le système d'irrigation à la raie (segua en terre) de largeur et longueur bien déterminés selon la parcelle et la pente. Ces aménagements ont prouvé leur efficacité pour la conservation et la gestion des eaux, mais elles exigent un entretien continu.

Les terrasses et les cuvettes renforcées en pierre sèche qui ont prouvé leurs efficacités et leurs durabilités ont conduit les riverains à les aménager toujours. La reproductibilité (multiplication) est un indice d'efficacité.

D'autres pratiques recensées sont très fréquentes, comme les clôtures en haies vives. Elles jouent un rôle important dans la délimitation des parcelles et la protection des vergers. La conception est basée sur les espèces épineuses (Casuarina, Cyprès ...).

Les Seds, les Madjens et les Seguias sont des techniques de mobilisation et de gestion de l'eau. Ils jouent un rôle non négligeable comme d'autres techniques dans la gestion de l'eau. Les Seguias, ce canal principal en terre battue ou en béton a pour rôle l'écoulement des eaux de la source et des oueds vers les parcelles en terre irriguées. L'entretien de ce type d'aménagement se fait en chantier volontaire (Touiza).

Les cordons en pierres et les murs en toub sont des barrières placées à intervalles réguliers le long des limites des parcelles. Généralement, ils sont appuyés par d'autres mesures ou pratiques agricoles (cultures associées, plantation d'arbre...). Les cordons en pierres jouent un rôle important dans la récupération des terres marginales, augmentent l'infiltration en réduisant la vitesse de ruissellement et aplanissent la pente. Ils permettent aussi la reconstitution du couvert végétal et la valorisation des espaces fortement dégradés.

IV.3.2 Les techniques nouvelles de conservation de l'eau et du sol

Différentes techniques sont mises en œuvre pour réduire les ravinements et l'érosion en général à travers des programmes d'aménagement antiérosif qui ont été exécutés (programme sectoriels, projet de proximité de développement rural intégré (PPDRI), programme travaux d'utilité publique à haute intensification de la main d'œuvre « Tup-Himo », et le plan National de Reboisement et de fixation des berges d'oueds, de la correction torrentielle, de la confection d'ouvrage de conservation des sols et des eaux ainsi que la plantation rustique, la création des bandes vertes, la plantation d'alignement, l'aménagement des piste et le programme d'intempérie.

Dans notre bassin versant qui est fait l'objet d'étude, 98 500 m³ de corrections torrentielles ont été réalisés durant la période 2000 jusqu'au 2014. Ces volumes sont répartis en deux types d'ouvrage à savoir des seuils en gabion et des seuils en pierres sèches (**Tab. A et Tab. B**).

Les quarantaines de seuils de correction des ravines ont été analysées dans la zone d'étude. Leur évaluation et diagnostique ont été basés surtout sur des prospections de terrain et des enquêtes effectuées avec les personnes concernées (Forestiers, population,). L'analyse des travaux antiérosifs et des structures de correction torrentielle dans notre bassin versant ont permis de caractériser et de comparer les différents types d'aménagements (seuil en gabion et seuil en pierre sèche).

Le volume de réalisation de chaque type de seuils nous donne une première interprétation sur l'importance d'intervention ; les seuils en gabion sont les plus utilisés avec un taux de plus de 96%, le reste 4% représente le taux d'utilisation de seuil en pierre sèche.

IV.3.3.1 Objectif principal de réalisation des ouvrages

Les différents aménagements examinés montrent que l'objectif de réalisation de ces ouvrages est reparti entre la création de l'emploi et lutter contre l'envasement des sources et des retenus en aval. Certains seuils en terres implantés dans la zone étudiée avaient pour objet l'abreuvement de cheptel. Pour les seuils en pierre sèche construits durant l'année 2000, leur objectif était la protection de civilisation surtout l'exposition Sud de Djebel Aïssa. Le deuxième objectif est la création de l'emploi dans le cadre du programme de « Tup Himo ». Les seuils en gabion utilisés pour corriger les ravinements.

Les retenues collinaires sont des ouvrages en terres destinés essentiellement à l'irrigation et abreuvements du cheptel (**Tab. C**). Servant d'une part à fixer la population par une intensification d'une agriculture d'autosubsistance et d'autre part à protéger les grands systèmes hydrauliques contre l'envasement et la sédimentation, leur rôle en matière de lutte contre l'érosion hydrique et la fixation de la population notamment les nomades au niveau du bassin versant ne doit pas être négligeable en association avec des forages équipés de pompes et de panneaux solaires exploités par les éleveurs de la région.

IV.3.3.2 L'étude préalable sur les aménagements

Sur la base de notre enquête auprès des personnes qui ont participé à la réalisation des travaux relatifs aux différentes techniques antiérosives rencontrées sur le territoire de la région de Ain Sefra, nous a permis de constater et de tirer les observations suivantes :

- Le choix très limité dans les types d'ouvrage mise en place (seuil en gabion et seuil en pierre sèche seulement) parfois inadaptés au terrain en place ;
- Les aménagements mécaniques prospectés nous montre qu'un taux important des seuils en pierre sèche ne fonctionnent pas, en raison de leur implantation dans les ravines non actives (sans études préalables) ;
- Une densité des seuils parfois exagérée surtout les seuils en pierre sèche ;
- Dans la plupart des cas, les études spécialisées dans le domaine de la conservation des eaux et des sols sont insuffisantes, et celles qui existent ont été faites de façon générale et typique à autre région différente. Ce n'est que ces dernières années, quand l'administration a confié aux bureaux d'études la tâche de mener des études, notamment

pour les corrections torrentielles et les retenues collinaires, que les résultats obtenus étaient satisfaisants.

Le service technique de conservation de l'eau et du sol est parfaitement convaincu que le traitement des ravins était prioritaire dans cette région menacée par une dégradation intensive du sol par les averses. Des seuils en gabion et des retenus et parfois associées avec des fixations biologiques conviennent mieux à la stabilisation des terrains de notre zone d'étude.

IV.3.3.3 La durée des aménagements

La qualité, la forme, la dimension et le calibre des pierres utilisées pour la construction d'un barrage torrentielle influent sur le bon fonctionnement et la durée de vie de l'ouvrage. Évidemment, si l'on a affaire à une pierre qui se désintègre rapidement quand elle est exposée à l'eau et à l'air, l'ouvrage ne durera guère. De plus, si l'on utilise uniquement des petites pierres, celles-ci peuvent se déplacer sous l'impact du premier débit abondant et le barrage est rapidement détruit. Par contre, un barrage de consolidation construit en gros blocs laissant de larges vides dans l'ouvrage offrira une certaine résistance à l'écoulement mais laissera éventuellement passer des courants d'eau à travers les trous. Ces courants sont extrêmement destructeurs s'ils sont orientés vers des ouvertures dans la protection des berges ou autres parties non protégées du chenal. La présence de larges vides dans les barrages empêche également les sédiments de s'accumuler en amont des ouvrages. En général, cette accumulation est souhaitable car elle accroît la solidité des ouvrages et contribue à stabiliser la ravine (**Burchard, 1977**).

Dans notre région, nous avons constaté que 80% des 16 retenues collinaires prospectées présentent un état satisfaisant et 70% sont exploitées mais pas intensément. Sachant que leur réalisation date de plus de 12 ans, cette durée dépasse même la moitié de la durée de vie approximativement prévue pour une retenue collinaire (durée de vie de 20 ans) (**Tab. C**).

Le problème d'érosion, de transport solide est déjà très préoccupant pour ces régions car l'investissement pour ces ouvrages est très important et l'envasement contribue davantage à la réduction de leur durée de vie.

IV.3.3.4 Conception et confection des seuils

Une conception technique doit contribuer à établir et restauration les barrages correction torrentielle, les seuils en gabion représentent l'ouvrage d'art le plus couramment utilisée. Les forces qui agissent sur un barrage de correction dépendent de la conception et du type de matériau de construction (**Tab. A et Tab. B**).

La construction des ouvrages n'a pas toujours été conformes aux normes, ce qui explique l'inefficacité partielle et quelque fois totale des ouvrages due à la diminution excessive des fondations de plus l'inexistence de leur entretien. Pour éviter toutes ces anomalies des études préalables spécialisées sont nécessaires.

On peut simplifier les méthodes de conception des radiers en enrochements et adopté une règle empirique : la longueur du radier doit être 1,5 fois la hauteur de l'ouvrage dans les chenaux dont le gradient n'excède pas 15 pour cent et 1,75 fois quand le gradient dépasse 15 pour cent. La longueur du radier calculée de cette façon comporte une marge de sécurité suffisante pour empêcher la chute d'eau de frapper le fond non protégé de la ravine. Le plan prévoit l'encastrement du radier dans le lit du chenal de manière que sa surface soit approximativement plane et à 0,15 m environ au-dessous du niveau primitif du fond de la ravine (**Burchard, 1977**).

a. Matériaux de construction des seuils

La pierre s'est avérée constituer un matériau de construction particulièrement bien adapté quand elle est employée correctement. On la trouve souvent sur le terrain même, ce qui évite des frais de transport sur de longues distances. La qualité, la forme, la dimension et le calibre des pierres utilisées pour la construction d'un ouvrage influent sur le bon fonctionnement et la durée de vie de l'ouvrage. Évidemment, si l'on a affaire à une pierre qui se désintègre rapidement quand elle est exposée à l'eau et à l'air, l'ouvrage ne durera guère. De plus, si l'on utilise uniquement des petites pierres, celles-ci peuvent se déplacer sous l'impact du premier débit abondant et le barrage est rapidement détruit. Par contre, un barrage de consolidation construit en gros blocs laissant de larges vides dans l'ouvrage offrira une certaine résistance à l'écoulement mais laissera éventuellement passer des courants d'eau à travers les trous. Ces courants sont extrêmement destructeurs s'ils sont orientés vers des ouvertures dans la protection des berges ou autres parties non protégées du chenal. La présence de larges vides dans les barrages de consolidation empêche également les sédiments de s'accumuler en amont des ouvrages. En général, cette accumulation est souhaitable car elle accroît la solidité des ouvrages et contribue à stabiliser la ravine.

b. Aspects techniques

b.1. L'ancrage des aménagements

Le fait d'ancrer un barrage de consolidation dans les talus latéraux et le fond de la ravine renforce considérablement la stabilité de l'ouvrage. Ce genre d'ancrage est important dans les

ravines où l'on peut s'attendre à de gros débits de pointe et où les sols sont fortement sujets à l'érosion (par exemple, les sols ayant une forte teneur en sable).

Pour empêcher les flots destructeurs de contourner le barrage et de saper les berges, on prolonge l'ancrage jusque dans les talus latéraux de la ravine. L'affouillement risquerait de créer des vides entre le barrage et la berge, ce qui rendrait l'ouvrage inefficace. Les ancrages diminuent le danger d'affouillement et de minage autour des barrages de consolidation car ils ont pour effet d'allonger considérablement le chemin parcouru par les infiltrations. A mesure que les vides du dispositif d'ancrage se bouchent, la longueur de parcours des infiltrations augmente. Il s'ensuit une diminution de la vitesse d'écoulement des eaux d'infiltration et, de ce fait, un affaiblissement de la force érosive.

La pièce d'ancrage placée dans le fond de la ravine est destinée à préserver le barrage de consolidation contre un sapement de l'ouvrage par l'aval. La base de l'ancrage, qui constitue l'empattement du barrage, doit donc être conçue de manière à se trouver au-dessous de la surface du radier. Cela est particulièrement important pour les ouvrages à parois et pour les ouvrages imperméables qui sont davantage exposés à un affouillement à la base. L'eau qui s'écoule par-dessus l'évacuateur forme une chute qui crée une principale zone critique d'impact à l'endroit où le ressaut hydraulique frappe le fond de la ravine. Cet endroit est situé à une certaine distance de l'ouvrage. Par ailleurs, les flancs des barrages de consolidation en enrochements et à armature métallique plongent sous le radier et il n'y a pas de chute dénoyée (**Tab. A et Tab. B**).

b.2. Les déversoirs

Les prospections ont montré que les seuils en pierre sèche n'ont pas un déversoir par contre la majorité des seuils en gabion ont un déversoir bien centré avec des différentes formes (forme longitudinale, rectangulaire, trapézoïdale ou curviligne).

b.3 Dimension technique

La majorité des aménagements ont leur dimensionnement dans les normes, l'autres sont surdimensionnées ou sous dimensionnées. Pour certains seuils en pierre sèche leur dimensionnement est parfois imprécis (soit leur emplacement, soit la surestimation du volume).

b.4 Fondation des seuils

Une fois le seuil implanté (axe, largeur et longueur) il est nécessaire de creuser la fouille de fondation selon la profondeur choisie. Il est très important que le niveau de la fouille soit horizontal. Pour le creusage de la fouille de fondation il faut prendre en compte aussi l'emprunt des talus latéraux, raison pour laquelle la largeur totale de la fouille doit être supérieure d'environ 1 m à la largeur demandé.

Après le planage de la fouille de fondation il est nécessaire de mettre en place une couche de tout venant compacter pour garantir une bonne pose des gabions. Le tout-venant doit être bien plané pour obtenir un niveau horizontal. Ensuite on passe à l'arrosage et au compactage de la couche. Il faut prêter attention pour éviter la concentration des matériaux plus grossiers vers les bords de la fouille. Pour avoir un compactage optimal les bords doivent être compactés à la main avec dames. L'épaisseur de la couche de tout venant est fonction de l'importance de l'ouvrage, en général une couche de 25 à 30 cm est suffisante.

c. L'implantation des seuils

Les ouvrages doivent s'appuyer les uns sur les autres, l'écartement étant calculé en tenant compte de la pente de compensation, c'est à dire de la pente observée au fond des ravines sur le terrain où l'on ne constate ni arrachement, ni sédimentation. Le principe de la correction en escalier doit être respecté si l'on veut assurer la pérennité de l'aménagement. Un écartement trop important ou la destruction d'un ouvrage compromet à terme la stabilité de tous les ouvrages supérieurs. En effet l'érosion régressive est particulièrement rapide lorsqu'une masse d'alluvions tapisse le lit de la ravine. Même lorsque cette érosion est moins rapide parce qu'elle doit inciser la roche en place, nous sommes obligés de raisonner sur des durées longues, compte tenu de la pérennité recherchée des ouvrages.

Lorsque l'écartement entre les ouvrages est trop important, la base d'un barrage est affouillée, le coût de l'opération est élevé (reprise de la maçonnerie en sous-œuvre, construction d'un contre-barrage). Il est donc économiquement plus rentable de déterminer l'écartement entre les ouvrages de telle façon que le risque d'affouillement soit minimisé.

Lorsque l'objectif est de stabiliser le profil il faut traiter les sections où l'incision joue réellement un rôle. Dans ce cas, il suffit souvent d'installer des ouvrages de taille modeste pour cesser cette incision. Lorsque l'objectif est de stocker des sédiments, on intervient généralement plus à l'aval dans des sections à pentes faibles, ce qui permet de retenir un volume d'alluvions plus important pour une même hauteur d'ouvrage. Cet objectif conduit à donner une hauteur plus importante aux ouvrages.

Les travaux de correction torrentielle décrits constituent une technologie à la fois coûteuse et fragile. Le coût est lié à l'emploi de matériaux durables (gabion et maçonnerie) et à la nécessité de dimensionner largement les ouvrages pour leur permettre de résister aux diverses contraintes et risques (chocs de gros blocs, cisaillement des berges instables, renversement sous la pression de l'eau, affouillement, renardage, contournement, etc...).

La fragilité provient de ce que la destruction d'un ouvrage provoque souvent la ruine des ouvrages situés en amont sous l'effet de l'érosion régressive. L'écrêtement d'une grosse ravine

n'est justifié que dans le cas où cette ravine menace des intérêts ayant une grande importance économique, là où un service chargé d'assurer l'entretien des ouvrages existe et dispose de moyens financiers importants et d'un personnel qualifié."

d. Entretien et suivi des aménagements

L'absence d'entretien et de suivi les techniques installées réduit la réalisation des objectifs de lutte contre l'envasement de ces ouvrages et par conséquent réduit la durée de vie de ces derniers. Les techniques sont souvent mises en place puis abandonnées à elles-mêmes et la population locale non convaincu par leurs intérêts et non intégrer dans leur réalisation ne donne pas un bon accueil à ces mesures imposées par les autorités administratives.

Généralement, cet entretien ne peut être assuré par les agents de l'Etat. Les paysans peuvent en assurer l'entretien au cas où ces seuils ont un impact suffisant sur la productivité agricole du bas fond. L'espacement entre les seuils de correction d'une petite ravine n'a pas besoin d'être calculé comme dans le cas du traitement des ravines importantes à fonctionnement torrentiel. En effet, l'épaisseur des alluvions est en général faible et de ce fait, lors du surcreusement local dû à la destruction d'un ouvrage, l'érosion régressive progresse moins vite vers l'amont que lorsqu'elle travaille dans des alluvions profondes. L'aménageur dispose donc d'une certaine souplesse dans la localisation des ouvrages. Il pourra en particulier démarrer le traitement là où la tenure des terres ne pose pas de problème et où les propriétaires riverains sont disposés à collaborer entre eux. En principe il faut intervenir en priorité sur les tronçons amont, là où les chances de réussite sont supérieures, compte tenu d'une torrentialité moindre. Une fois ces secteurs aménagés, le traitement de l'aval sera plus facile.

e. Le coût et efficacité de l'aménagement

Les options techniques des investissements sont fonction d'une appréciation économique et sociale du projet, d'une part en ce qui concerne l'aménagement d'ensemble de la rivière, d'autre part en ce qui concerne le seuil lui-même. Une analyse économique du projet d'aménagement mettant en balance les coûts d'étude, de construction et de fonctionnement du ou des ouvrages avec les bénéfices attendus permettra de juger de l'intérêt du projet. Les coûts associés à chacune des fonctions permettront d'orienter les modes de financement du projet.

Le coût du barrage étant directement proportionnel au volume de l'ouvrage, la quantité de pierre nécessaire et la hauteur effective du barrage. C'est à-dire que, dans une ravine donnée, il existe une hauteur de barrage pour laquelle la quantité de pierre nécessaire pour un traitement est la plus réduite.

On ne peut juger de la valeur d'un traitement sur la seule base des coûts d'aménagement, car l'appréciation des avantages fait partie du processus de décision. Les dépôts sédimentaires retenus par les barrages de consolidation peuvent être intégrés dans un rapport de coûts qui fait entrer en ligne de compte un avantage tangible. Le rapport sédiment-coût augmente (le traitement est de plus en plus avantageux) avec la hauteur du barrage et diminue quand la pente augmente (**Tab. A et Tab. B**).

Le problème posé et celui de la correction torrentielle, de types des seuils à mettre en place, de leur coût et de leur efficacité, pour stocker les sédiments, mais surtout pour rehausser le fond de la ravine et de rétablir la pente d'équilibre des versants permettant ainsi d'installer une végétation naturelle et d'éteindre les foyers d'érosion.

La sensibilisation du paysan face à l'aggravation de l'érosion, nécessite de renforcer le dialogue entre techniciens et paysans en informant ces derniers sur l'efficacité des différentes techniques physiques, biologiques et culturelles en matière de lutte anti-érosive. A cet effet, il serait urgent de mettre à disposition des paysans des techniciens qualifiés qui les assisteraient dans leurs travaux. Des subventions pourraient être accordées par exemple aux agriculteurs désireux d'entreprendre des travaux de lutte contre l'érosion.

Le rôle des ouvrages de CES dans la préservation du milieu naturel est un aspect qui justifie leur coût. Localement le rôle de ces ouvrages dans la maîtrise des eaux de crues apparaît minime, mais on leur connaît à l'échelle du bassin versant une efficacité irréfutable.

Toutefois, ces ouvrages nécessitent pour être fonctionnels entretien périodique, permettant d'assurer leur efficacité lors du passage des fortes crues. L'adoption au niveau de l'aménagement hydraulique s'avère être le moyen le plus efficace pour la lutte contre les inondations et la protection des bassins versants.

Les observations recueillies sur le terrain permettent de remarquer que les travaux exécutés n'ont pas toujours donné les résultats prévus et que même, parfois, ils tendent à aggraver la situation dans certains secteurs. On peut retenir deux séries de causes à ces échecs, des principes de base insuffisants et une mauvaise utilisation de certaines techniques.

f. Impact des aménagements

Le projet de protection de bassins versants par la lutte anti érosive de la région de Ain Sefra se réalisera à travers les travaux d'aménagement physique, biologique et agronomique qui sont les travaux typiques du génie rural ayant un impact direct sur la production agricole et pastorale. En effet, les travaux de protection de bassin versant vont permettre d'améliorer l'infiltration de l'eau aux champs afin d'augmenter la nappe phréatique et en conséquence augmenter la production de la biomasse en couvrant mieux le sol et de rétablir l'équilibre des

bilans des matières organiques et minérales du sol. Dans les bandes d'infiltration composées d'arbres, d'arbustes et/ou d'herbes qui suivront les courbes de niveau et par des méthodes culturales, les eaux de ruissellement seront ralenties et les terres érodées seront sédimentées.

De même, le reboisement de 596 ha sur les monts contribuera à protéger en amont les micros bassins versants mais également à rétablir l'équilibre et le maintien de débit des sources qui alimentent en eau potable le centre urbain de Ain Sefra.

Toutefois, ces ouvrages nécessitent pour être fonctionnels, nécessitent un entretien périodique, afin d'assurer leur efficacité lors du passage des fortes crues. Au niveau de l'aménagement hydraulique ils seront le moyen les plus efficaces pour la protection des bassins versants et la lutte contre les inondations.

Les aménagements biologiques qui ont prouvé leur efficacité, dans la régénération des parcours est la mise en défens, mais cette technique reste l'objet des contraintes suivantes :

- ✓ Le manque de respect des mises en défens par les éleveurs, ceci se justifie par le pacage du cheptel au sein de certains périmètres et aussi la pratique des labours illicites.
- ✓ La faiblesse du dispositif de gardiennage comparativement à l'étendue des zones mises en défens qui sont très vastes.

Dans le but de transférer les procédures ayant comme objectifs la lutte contre la dégradation du sol, il s'avère nécessaire de suivre les recommandations :

- Elaboration d'un programme économique visant la mobilisation rationnelle des ressources naturelles en vue d'améliorer les conditions de vie des populations rurales à travers des actions soutenues par l'état.
- Prévoir un dispositif de soutien pour l'alimentation du bétail afin de préserver le couvert végétal des parcours mis en défens.
- Mobilisation rationnelle de la ressource hydrique et développement de l'hydraulique pastorale (infrastructures de stockage de surface : Sed, retenue collinaire, mare, Jboub).
- Etablir un programme spécifique de vulgarisation destiné au monde rural relatif à la lutte contre la dégradation du sol.

Conclusion

Le service technique de conservation de l'eau et du sol est parfaitement convaincu que le traitement des ravins était prioritaire dans cette région menacée par une dégradation intensive du sol par les averses. Les seuils en gabion et les retenues, parfois associés avec des fixations biologiques, conviennent mieux à la stabilisation des terrains de notre zone d'étude.

Notre travail a porté sur l'analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol dans la région de Ain Sefra dont rappelons-le, la superficie globale est de 1903,5 km².

Les types d'aménagement nouvelles réalisés dans ce bassin sont surtout les corrections mécaniques avec un volume de 172 500 m³ répartis sur deux types d'ouvrages (seuils en gabion et en pierre sèche) et les aménagements biologiques avec un volume de 47 763 ha répartis entre reboisement, brise-vent, plantation fruitière et 50 000 ha pour la mise en défens. Sans oublier les rôles que jouent les retenues collinaires et les forages d'eau dans la gestion des eaux souterraines et du ruissellement, ainsi que le maintien en place de la population nomade.

La comparaison des différents types de seuils utilisés dans la correction torrentielle, a montré que les seuils en gabion restent les plus efficaces et les plus adaptés à ce type de milieu. La lutte mécanique est indispensable et efficace temporairement mais elle exige une fixation biologique rapide des atterrissements, des versants et de l'amont des ravines.

Il s'est avéré que l'association des techniques de CES traditionnelles (mécanique, biologique, techniques culturelles) combinée avec des compléments de fertilisation a un impact très positif sur la production et la réduction du risque de dégradation du sol.

Ces ouvrages (Madjen, Jboub, sed, Séguia) permettent la création des points d'eau au profil de la population, la stabilisation des sols, l'alimentation des nappes souterraines et l'augmentation de la durée de vie des infrastructures socioéconomiques (routes, ponts, canaux d'irrigation, chemin de fer, puits et oasis). Toutefois, pour rester fonctionnels, ces ouvrages nécessitent un entretien périodique, permettant d'assurer leur efficacité lors du passage des fortes crues.

On se rend compte que les autorités responsables devront veiller à sensibiliser les paysans sur l'importance de la mise en place de ces techniques indispensables, en même temps que leur fournir les éléments nécessaires pour préserver durablement l'environnement et assurer un équilibre entre les bénéfices agricoles et les potentialités des ressources naturelles en eau et en sols.



Conclusion générale

Conclusion générale

La tendance globale de la dégradation actuelle que connaît notre secteur d'étude peut être résumée comme suit : Un facteur climatique caractérisé par la sécheresse et l'agressivité des pluies. La sécheresse affaiblit et réduit la productivité des écosystèmes naturels et cultivés. L'agressivité des pluies engendre également un ruissellement considérable ainsi qu'une érosion intense dans les zones exposées au risque des inondations. Cependant, ces deux facteurs ne peuvent à eux seuls expliquer cette situation critique. Les vingt dernières années sont caractérisées par une évolution du système de production, mettant en évidence une surexploitation des ressources environnementales. La croissance démographique et la mécanisation de l'agriculture ont conduit à une expansion des surfaces cultivées au détriment des pâturages, provoquant un déséquilibre qui a été aggravé par les effets de la sécheresse.

Dans cette recherche, nous avons contribué à la connaissance des problèmes de l'érosion hydrique dans un contexte d'aridité, en particulier dans le bassin de l'Oued Ain Sefra (Monts des Ksour) et analyser le comportement des techniques et des aménagements (traditionnelles et nouvelles) de conservation de l'eau et du sol ainsi que l'occupation du sol au niveau de notre bassin versant. Ce dernier occupe une superficie de 1903,5 km² (avec un périmètre de 276 km), de forme allongée ($Kc = 1,77$) avec une altitude moyenne de 1335,24 m, et une vitesse de ruissellement pouvant atteindre 3,81 km/h. Le climat de ce bassin est typiquement aride marqué par une pluviométrie moyenne de 219,55 mm.

L'activité de l'élevage occupe une place assez importante dans la vie économique de l'espace de la wilaya de Naâma. Par ailleurs, la multiplication des troupeaux (Cheptel est estimé en 2015 à 1 200 000 têtes, constitue essentiellement d'ovins (91%), la totalité de ce cheptel est concentré dans les communes frontalières en raison de sa grande superficie et de l'ampleur de ses parcours (Kasdir, Ain Ben Khelil, Sfissifa, Makmen Ben Amar et El Biod)) dans ces régions entraîne le surpâturage, qui est à l'origine d'une catastrophe écologique généralisée, autrement dit la désertification progressive d'importantes zones dénudées soumises à l'érosion éolienne et hydrique ainsi qu'une agriculture sur des sols fragiles y contribue fortement. Les défrichements de terres à cultiver précédant les labours détruisent les plantes pérennes, font souvent disparaître les meilleurs pacages (baisse de la biodiversité végétale) et ont dénudé des sols fragiles livrés à une érosion éolienne et hydrique implacable.

La transhumance était dictée par un besoin en fourrage dans des zones favorables (parcours présahariens en hiver, zones céréalières en été), réglementée par des ententes tacites entre tribus, dont les revenus étaient tirés essentiellement de l'élevage.

Aujourd'hui la situation a évolué dans le sens d'une tendance à la sédentarisation et à la disparition progressive du nomadisme. Avec la transformation de la forme de l'élevage dans la steppe en générale et notre zone d'étude en particulier, devenant de plus en plus sédentaire, le pasteur est tenté par une agriculture d'appoint, non aléatoire, faire ses propres céréales, pâturer ses chaumes en été et constituer ses propres stocks de paille malgré les rendements qu'ils restent faibles.

Les agropasteurs cherchent à diversifier leur revenu et de la politique de l'État qui encourage cette activité depuis les années 2000 par les différents programmes mis en œuvre. Tous les efforts déployés concourent à la consolidation des différentes actions inscrites dans le cadre du programme FNRDA (Fonds National de Régulation de Développement Agricole) et FNDA (Fonds National de Développement Agricole) et la mise à niveau de l'ensemble des exploitations agricoles d'une part, et d'autre part l'augmentation de la SAU par la mise en valeur de nouvelles terres par l'Accession à la Propriété Foncière et Agricole (la loi 83-18 du 13 Août 1983) et par concession (nouvelles terres par la loi 10-03). L'objectif principal est l'intensification des poches agricoles par la plantation arboricole comme moyen de lutte contre la désertification et l'érosion ainsi que la promotion des cultures fourragères pour répondre aux besoins du cheptel en aliments supplémentaires.

L'agriculture progresse (de 1,40% en 2000 à 7% en 2019) dans cette zone du fait de la croissance démographique (multipliée par quatre entre 1977 et 2016) qui induit une forte demande de produits agricoles, dont les meilleures terres destinées aux cultures sont réservées au maraîchage et à l'arboriculture, où le recours à l'irrigation est nécessaire, et celles qui le sont moins sont emblavées par du fourrage artificiel notamment l'orge (53% de la production végétale en 2015).

L'analyse de données satellitaires a permis d'identifier dix principaux types d'occupation du sol au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra entre 2000 à 2019 et met en évidence la dominance des classes « matorral et affleurements rocheux » et « parcours dégradés » par rapport aux autres classes d'occupation du sol à savoir les forêts, édifices sableux, agriculture, agglomération, cours d'eaux et retenues et les trois groupements des plantes naturelles (à Alfa, à Remth et à Rétam).

La contribution des systèmes d'information géographique (SIG) à l'évaluation quantitative et qualitative du risque d'érosion a revêtu une importance capitale. En effet, le modèle RUSLE a prouvé son efficacité en tant qu'outil pratique et modulaire dans ce domaine. Avec ce système, il devient possible d'analyser l'évolution de l'érosion généralisée de ces sols et de fournir des données de base pour prévenir les pertes de sol pour cette région, tout en fournissant aux décideurs un ensemble d'informations utiles pour la mise en œuvre de programmes de conservation des sols et de l'eau dans le futur, au niveau du bassin versant de l'Oued Ain Sefra en particulier, et dans la région des Monts des Ksour en général.

Non seulement ils ont permis de diviser le secteur de la recherche selon son degré de sensibilité au phénomène avec un degré de précision appréciable, mais surtout ils ont permis d'identifier relativement facilement les domaines d'intervention prioritaires. Cette identification des zones sensibles à l'érosion est une étape importante dans la mise en œuvre d'une stratégie de lutte contre l'érosion des sols. Bien que la validité de l'évaluation de la méthode utilisée soit sujette à discussion, elle constitue une aide importante pour les décideurs et les planificateurs dans la simulation de scénarios d'évaluation de l'érosion et la planification des interventions de lutte contre l'érosion.

La dynamique érosive du bassin versant de l'Oued Ain Sefra est très active. Cinq zones correspondant à différentes classes d'érosion hydrique ont été identifiées : les zones de sensibilité faible, moyenne, modérée, forte et très forte. Les zones de sensibilité modérée à très forte couvrent de façon cumulée plus de 35 % du secteur et sont majoritairement concentrées dans sa partie Sud Est et Nord ; ce qui montre que le risque de potentiel moyen de l'érosion hydrique est estimé à 5,2 t/ha/an. Cette sensibilité est due, pour l'essentiel, à l'agressivité des facteurs climatiques (intensité des averses), à une forte pression anthropique, de nature agricole, qui provoque la réduction du couvert végétale des parcours au profit des cultures dominés par une céréaliculture notamment l'orge et au changement du mode de pastoralisme qui passe de nomade en sédentaire. Se traduit par un pâturage sur les mêmes sites durant toute l'année, et sans aucun allègement pendant la saison sèche. Cela a entraîné par conséquent une détérioration de l'équilibre écologique des parcours.

Notre zone d'étude a bénéficié des aménagements antiérosifs biologiques, de nombreuses plantations sont réalisées notamment dans les piémonts des djebels, elles prouvent leurs efficacités à remédier certaines situations. A savoir, la Mise en défens des terres de périmètres délimités au niveau de la wilaya de Naâma (entre 2008 et 2011, environ 515 000 d'hectares ont été fermés au pâturage pour une période de trois ans, Dont 50 000 ha représente

la contribution de notre bassin versant), plantations fruitières (380 ha), brise-vents (560 Km l de Casuarina et cyprès), plantations pastorales notamment Atriplex et la fixation biologique de dunes essentiellement le Tamarix et le Pin d'Alep (2860 Ha), etc.

La comparaison des différents types de seuils utilisés dans la correction torrentielle (avec un volume de 172 500 m³ répartis sur deux types d'ouvrages ; seuils en pierres sèches et en gabion), a montré que ces derniers restent les plus efficaces et les plus adaptés à ce type de milieu. La lutte mécanique est indispensable et efficace temporairement mais elle exige une fixation biologique rapide des atterrissements, des versants et de l'amont des ravines.

Il s'est avéré que l'association des techniques de CES traditionnelles (mécanique, biologique, techniques culturales) combinée avec des compléments de fertilisation a un impact très positif sur la production et la réduction du risque de dégradation du sol.

L'analyse du comportement des ouvrages et des techniques traditionnelles de conservation de l'eau et du sol dans les trois sites sélectionnés du bassin versant de Sfisifa, Belguered et Ain Sefra, a montré que les techniques développées par les paysans permettent de gérer et de gagner des espaces cultivables et contribue aussi à la réduction de l'érosion. Les résultats montrent que ces ouvrages (Terrasses, cordon en pierres, mur en toub, cuvettes d'irrigation) ont été efficaces dans certains endroits surtout en association avec les technique culturales (utilisation du fumier, cultures en billon, rotation de cultures). Toutefois, leur nombre reste très limité vis-à-vis la fragilité du milieu naturel et l'intensité de l'érosion. Par conséquent, ce travail a essayé de mettre l'accent sur la nécessité d'avoir une vision globale sur les problèmes de dégradation du milieu dans l'ensemble du bassin versant. Cette tâche permettra de chercher les solutions adéquates et de répartir les travaux selon des zones de priorité.

Les ouvrages hydrauliques soient traditionnels (Madjen, Jboub, Sed, Séguia), ou modernes (retenues collinaires et forages), permettent en amont la création des points d'eau au profil de la population (sédentaires et nomades), la stabilisation des sols, l'alimentation des nappes souterraines et l'augmentation en aval la durée de vie des infrastructures socioéconomiques (villes, routes, ponts, canaux d'irrigation, chemin de fer, puits, exploitations limitrophes aux Oueds et Oasis). Toutefois, pour rester fonctionnels, ces ouvrages nécessitent un entretien périodique, permettant d'assurer leur efficacité lors du passage des fortes crues.

Il est évident que sur le plan technique, les autorités responsables devront veiller à ce que les agriculteurs soient conscients de l'importance de mettre en œuvre ces techniques indispensables, en même temps que les éléments nécessaires pour préserver durablement

l'environnement et assurer un équilibre entre les bénéfices agropastoraux et les potentialités des ressources naturelles en eau et en sols.

Les causes de la dégradation des sols dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra en particulier et dans la wilaya de Naâma en général sont multiples et peuvent être classées en trois catégories, à savoir, naturelles, socio-économiques et réglementaires. Les causes naturelles, sont généralement climatiques et principalement la sécheresse prolongée, la vitesse du vent et l'agressivité des pluies. Quant aux causes socio-économiques, elles relèvent de multiples domaines. Elles peuvent être liées aux pratiques culturales (défrichement par labours étendu) et/ou d'élevage (surpâturage), mais aussi à la population locale et à la rareté des ressources (pauvreté). Elles sont si étroitement liées qu'il est impossible de les dissocier. Enfin, les causes réglementaires sont liées plutôt aux politiques adoptées dans ces zones steppiques par les différents gouvernements Algériens.

Enfin, les résultats de notre recherche obtenus pour le bassin versant aride de l'Oued Ain Sefra pourrait être extrapolées comme un document de référence dans les études d'aménagements contre l'érosion hydrique aux bassins voisins présentant les caractéristiques physiques, le régime pluviométrique et hydrologique semblables. Cette manière de procéder devrait considérablement faciliter les travaux d'aménagements et de gestion des milieux vulnérables à l'érosion non seulement dans le bassin étudié, mais dans tous les bassins versants arides en Algérie.



Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Abada A., 1984.** Hydrogéologique de la région d'AIN SEFRA (Monts Des Ksour). Thèse Mag. Sc. terre. Univ Houari Boumediene Alger.p10-14.
- Abdelguerfi A., Et Laouar M., 2000.** “Conséquences des changements sur les ressources génétiques du Maghreb”. Option Méditerranéennes, série A, n° 39, pp. 77-87.
- Achite M., Touaibia B., et Ouillon S., 2006.** Erosion hydrique en Algérie du Nord : Ampleur, conséquences et Perspectives. In 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco. May 14-19, 2006 (ISCO 2006).
- Aïdoud A., 1993.** Les changements climatiques dans les espaces steppiques. Causes et implication pastorale. in : Stratégie de mise en oeuvre du développement pastoral (actes du colloque), Ifrane, Maroc, pp. 9-14.
- Aïdoud A., Le Floc’h É., & Le Houérou H. N., 2006.** Les steppes arides du nord de l’Afrique. Science et changements planétaires/Sécheresse, 17(1), 19-30.
- Aissat A., 2019.** Etude hydrologique du sous bassin versant de L’oued MELLAGOU wilaya de *Khanchela*. université Akli Mohand Oulhadj. Dép. Génie d’eau. Bouira. 173p +Annexes <http://dspace.univ-bouira.dz:8080/jspui/handle/123456789/5515>
- Al Karkouri J., Watfeh A., Aderghal M., 2000.** Technique de conservation de l’eau et des sols dans une zone semi-aride méditerranéenne du rif central (vallée de Beni Boufrah). (56-80) p.
- A.N.R.H., 2020** (Agence Nationale des Ressources Hydriques). Séries de Données climatiques 2020.
- Arabi M., Kedaïd O. E., Bourougaa L., Asla T., Roose É., 2004.** Bilan de l'enquête sur la défense et restauration des sols (DRS) en Algérie. Sécheresse 2004 ; 15 (1) : 87-95p
- Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., Williams J.R., 1998.** Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. JAWRA J Am Water Resour Assoc 34:73–89.
- Arnoldus H.M.J., 1980.** Methodology used to determine the maximum potential average soil loss due to sheet and rill erosion in Morocco, Bulletin F.A.O. 34.
- Arrignon J., 1987.** Agro-écologie des zones arides et subhumides. Ed :G.P.Maison neuve. Paris pp13-27.
- Asmodé J.F., 1999.** Programme intégré de lutte contre l’érosion dans les Rougiers de Camarès, Laboratoire d’étude du comportement des sols cultivés du Centre ORSTOM de Montpellier. France.49P
- Atte Cyrille T.B., 2020.** Apport de la télédétection et des SIG pour le suivi spatio-temporel de l’occupation du sol et la cartographie de la sensibilité à l’érosion hydrique dans la région montagneuse du TONKPI (Ouest de la Cote d’Ivoire). Thèse Doc Scien. Agro. Et Génie Rural. Institut National Polytechnique Félix Houphouët-Boigny. Cote d’Ivoire. 156p+Annexes.
- Baize D., 1988.** Guide des analyses courantes en pédologie. Édit INRA-Paris-160p.
- Bagnouls F., Et Gaussen H., 1953.** Saison sèche et indice xéothermique. Bull. Soc. Hist. Nat., Toulouse, 88 : 193-239.
- Bagnouls F., Et Gaussen H., 1958.** Carte des précipitations de l’Algérie et de la Tunisie au 1/500.000’ I.G.N. Paris.
- Barrow C.J., 1991.** Land degradation: development and breakdown of terrestrial environments. Cambridge University Press, New York, 295 p.
- Barthès B., Roose É., 2001.** La stabilité de l’agrégation, un indicateur de la sensibilité des sols au ruissellement et à l’érosion : validation à plusieurs échelles. Cah. Agric. 10 :185-193.

- Bedrani S., 1993.** La place des zones steppiques dans la politique agricole Algérienne. Parallelo. 37 n°16 pp43-52.
- Bedrani S., 1995.** Une stratégie pour le développement des parcours en zones arides et semiaride. Algérie, Document de la banque mondiale, 61 p.
- Belasri A., Lakhouli A., 2016.** Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco. Journal of Geographic Information System, Vol 8, pp 98 – 107. <https://doi.org/10.4236/jgis.2016.81010>.
- Benabadji N., Et Bouazza M., 2000.** Contribution à une étude bioclimatique de la steppe à Artemisia herba-alba Asso. Dans l’Oranie (Algérie occidentale). Science et changements planétaires/Sécheresse, 11(2), 117-23.
- Benaradj A., 2017.** Étude phyto-écologique des groupements à Pistacia atlantica Desf. Dans le sud Oranais (Sud-Ouest algérien » . Thèse Doc Sci Forest. Univ-Tlemcen Algérie. 318 +Annexes
- Benchettouh A., Kouri L., Jebari S., 2017.** Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE/GIS techniques and practices conservation suggested for reducing soil erosion in Wadi Mina watershed (northwest, Algeria). Arabian Journal of Geosciences, 10. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2875-6>.
- Benguerai A., 2011.** Évolution du phénomène de désertification dans le sud oranais (Algérie) thèse de doctorat en science Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen Faculté des sciences de la nature et de la vie, de la terre et de l’univers Département des sciences agronomiques et forestières 152p.
- Benguerai A., Benabdeli CH., Yerou H., 2014.** Apport de l’approche systémique des systèmes d’élevage à l’identification des sources de dégradation des terrains de parcours : cas de la région de Naâma (Algérie) Laboratoire de recherche en Géo-Environnement et Développement des Espaces, Université de Mascara, Algérie. 205-214p.
- Benkadja R., Boussag F., Benkadja A., 2015.** Identification et évaluation du risque d’érosion sur le bassin versant du K’sob (Est Algérien). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74, 91–102. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0611-y>.
- Bensaid A., 2006.** Sig et télédétection pour l’étude de l’ensablement dans une zone aride :le cas de la wilaya de Naama (Algérie).Thèse. Doc. Univ. Joseph Fourier. Grenoble I. Géographie. Institut Géo. Es Senia.ORAN.299P+Ann.
- Benselama O., Mazour M., Hasbaia M., Djoukbala O., Mokhtari S., 2018.** Prediction of water erosion sensitive areas in Mediterranean watershed, a case study of Wadi El Maleh in north-west of Algeria. Environmental monitoring and assessment, 190(12),735. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-7117-1>.
- Benslimane M., Hamimed A., El Zerey W., Khaldi A. et Mederbal K., 2008.** Analyse et suivi du phénomène de la désertification en Algérie du nord. Vertigo – la revue électronique en sciences de l’environnement, Volume 8 Numéro 3. URL: <http://vertigo.revues.org/index/6782.html>.
- Bensouiah R., 2003. La lutte contre la désertification dans la steppe algérienne : les raisons de l’échec de la politique environnementale. Communication aux 15èmes Journées de la Société d’Ecologie Humaine Marseille, France.21p.
- Bensouiah R., 2003.** Pasteurs et agro-pasteurs du semi-aride algérien : Entre tradition et modernité. Le cas de Djebel Amour. Thèse de doctorat, Université de Paris X – Nanterre, p22.

- Berkal I., 2006.** Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie de la base de données à la valorisation des paramètres pédologiques. Mem. Mag. I.N.A. El-Harrach – Alger, 121p
- Bied-Charreton M., 2007.** Sècheresse, désertification et développement en Afrique. Cours de master2.Université de Versailles Saint Quentin. France. 53p.
- Blaise O., KABORE O., et KABORE M., 2019.** Cartographie quantitative de l'érosion des sols par approche SIG/RUSLE dans la Commune de Karangasso vigué (Burkina Faso) Int. J. Biol. Chem. Sci. 13(3): 1638-1653, 2019. <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v13i3.35>)
- Boardman J., Holmes P.J., Holland R. & Parson A.J., 2000.** Development of badlands and gullies in the Sneewberg, Great Karoo, South Africa. Int. Symposium (Gully erosion under Global Change) Leuven, Belgium, abstract 31.
- Boix-Fayos C., Calvo-Cases A., Imeson A.C., Soriano-Soto M.D., 2001.** Influence of soil properties on the aggregation of some Mediterranean soils and the use of aggregate size and stability as band degradation indicators. CATENA N° 44. 47-67pp.
- Bouarfa S., 2011.** Le phénomène d'ensablement dans le sud-ouest la région d'Aïn Sefra Conditions, facteurs et impacts sur l'environnement, Thèse MAG,Univ- Es sènia ORAN Algérie,112p.
- Bouarfa S., 2019.** Ensablement et aménagement dans le bassin versant de l'Oued Ain Sefra (Les Monts des Ksour), Thèse Doc. Sci. Terre, Univ Mohamed Ben Ahmed Es Sènia.ORAN Algérie,287p + Annexes.
- Boufaroua M., Yemna K., 1998.** Techniques traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans les zones arides et semi arides de la Tunisie. Bull Réseau Erosion. IRD. ORSTOM. Montpellier. France. 94-104p.
- Boughalem K. M., 2013.** Impact des systèmes de gestion sur la vulnérabilité des sols à l'érosion ; cas du bassin versant de l'Isser- Tlemcen (Algérie). Thèse Doc Sci Forest. Univ-Tlemcen Algérie. 197 +Annexes
- Bouguerra H., Bouanani A., Khanchoul K., Derdous O., Tachi S. E., 2017.** Mapping erosion prone areas in the Bouhamdane watershed (Algeria) using the revised universal soil loss equation through GIS. Journal of Water and Land Development, 32, 13–23. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0002>.
- Bouhaddeb C.H.E., Menani M.R., Bouguerra H., Derdous O., 2018.** Assessing soil loss using GIS based RUSLE methodology. Case of the Bou Namoussa watershed – North-East of Algeria. Journal of Water and Land Development. No. 36 p. 27–35. DOI: 10.2478/jwld-2018-0003.
- Boumaraf B., 2013.** Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'oued Righ, Sahara Nord Oriental, Algérie. Thèse de Doctorat en pedologie. Universite de Reims Champagne-Ardenne, 72p
- Bourbouze A., Gibon A.,1999.** Ressources individuelles ou ressources collectives. L'impact du statut des ressources sur la gestion des systèmes d'élevages des régions du pourtour méditerranéen. Séminaires Méditerranéens.1999 options Méditerranéen. Série A. CIHEAM n°38.pp289-309.
- Bourbouze A., 2000.** Pastoralisme au Maghreb : la révolution silencieuse, Revue fourrages, n°161, Versailles, Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), pp.3-21.
- Burchard H., 1977.** Ouvrages et méthodes de correction de ravins Ed. FAO. Rome.
- Braiki H., 2018.** Construction d'une démarche participative pour améliorer la gestion de l'eau et du sol. Une application aux politiques des aménagements de conservation des eaux et des sols en Tunisie Centrale. Environnement et Société. Agro Paris Tech ; Institut National Agronomique de Tunisie, 2018. Français. NNT : 2018AGPT0003. 156p + Annexes.

- Caloz R., Blaser T. J. Et Willemin G., 1993.** Création d'une ortho-image à l'aide d'un modèle numérique d'altitude : influence des modes de ré échantillonnage radiométrique. In télédétection et cartographie. Ed. AUPELF-UREF. Les Presses de l'université du Québec. pp. 17-30.
- Chalabi Kh., 2008.** Etude floristique des formations sahariennes et de la germination des graines de *Retama retam* (Webb) de la région de Taleb El Arbi (W, d'El Oued). Mémoire de Magistère en Sciences de l'Environnement et Climatologie. Département de Physique, Université d'ORAN. 82p
- Charles L.C., Amat J.P, Dorize L., Gautier E., 2002.** Eléments de géographie physique. Cours documents travaux dirigés, Bréal, 447p.
- Chebbani R., Djilali K., Roose É., 1999.** Etude à différentes échelles des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser .Bulltin. ORSTOM. Réseau érosion,19, 85-95p.
- Conacher A.J., et Sala M., 1998.** Land degradation in Mediterranean environments of the world: nature and extent, causes and solutions. John Wiley and Sons, Chichester, 491 p.
- C.F., 2015** (Conservation des forêts de la wilaya de Naâma) - Traitement du bassin versant de Ain Sefra par la correction torrentielle.
- Cooke R.U., Doornkamp J-C., 1990.** Geomorphology in environmental management. Oxford University press, 2nd edition. Coque, R1998 : Géomorphologie, Armand Colin, Paris.502p.
- Cornet A., Aymé A., & Algérie., 1952.** Service de la carte géologique de l'Algérie. Carte géologique de l'Algérie.
- Cornet A., 2002.** La désertification à la croisée de l'environnement. Un problème qui nous concerne. Johannesburg. Sommet Mondial de Développement Durable. Quels enjeux, quelle contribution des scientifiques. Paris France. Ministère des Affaires Etrangères, ADPF, p207
- Dajoz R., 1985.** Précis d'écologie Paris. Dunad. 5^{ème} Edition. In8 ; 24. 505p.
- Dakiche A., 2011.** Stratégie de lutte contre la désertification Cas du barrage vert en Algérie. ANRH ORAN. 27p.
- Debrach J., 1953.** Notes sur les climats du Maroc occidental. Maroc méridional, 32(342), 1122-1134.
- De Martonne E., 1926.** Aréisme et indice d'aridité. Compt. Rend. Séances Acad. Sci. 181 : 1395-1398.
- Derdour A., Bouanani A., Babahamed K., 2017.** Floods typology in semiarid environment: Case of Ain Sefra watershed (Ksour mountains, Saharian atlas, SW of Algeria), Larhyss Journal, 29, 283–299.
- D.G.F., 2018.** Direction générale des forêts-Fiche descriptive sur les travaux de BNEDER au niveau des zones arides. 16p.
- D'hoore J. L., Et Dutil P., 1963.** Carte des sols d'Afrique 1/5.000.000e. Feuille 6, Edition Institut Géographique Militaire, Bruxelles. <https://agritrop.cirad.fr/587061/>
- Djebaili S., 1984.** Steppe Algérienne, Phytosociologie et écologie. Thèse. Doc. Univ. Scien. Tech. De langue doc Montpellier. OPU. Alger.177p.
- Djellouli F., Bouanani A., Babahamed K., 2016.** Climate change: assessment and monitoring of meteorological and hydrological drought of Wadi El Hammam basin (NW-Algeria). Journal of Fundamental and Applied Sciences, 8(3), 1037-1053.
- Djellouli Y., 1981.** Etude climatique et bioclimatique des hauts plateaux du Sud-oranais, Wilaya de Saïda. Comportement des espèces vis-à-vis du climat (Thèse Doct. 3ème Cycle, Univ. Alger, 272 p.+ Annexes).

- Djellouli Y., Et Daget P., 1987.** Climat et flore dans les steppes du Sud-ouest Algérien. Bulletin de la Société Botanique de France. Lettres Botaniques, 134(4-5), 375-384.
- Djellouli Y., 1990.** Flores et climats en Algérie septentrionale. Déterminismes climatiques à la répartition des plantes. Thèse Doct, d'Etat. Sciences, Univ USTHB, Alger, 262 p + annexes.
- Djoukbala O., Mazour M., Hasbaia M., Benselama O., 2018.** Estimating of water erosion in semiarid regions using RUSLE equation under GIS environment. Environmental Earth Sciences, 77(9). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7532-1>.
- Douaoui A., Gascuel-Oudou C., Walte C., 2004.** Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du Bas Chéiff (Algérie), Mesures au laboratoire sous simulation de pluie. Étude et Gestion des Sols, Volume 11. Univ Hassiba Benbouali, Laboratoire Eau-Environnement, Chlef, Algérie p 379 - 392
- D.P.S.B., 2016.** Direction de la Programmation et du Suivi Budgétaires de la wilaya de Naâma . Monographie de la wilaya de Naâma.164p.
- Dube A., 1975.** L'eau et l'érosion des sols. Ressources. Ministère des Richesses Naturelles du Québec. Vol VI (4),: 8-15
- Dubief J., 1959-1963.** Le climat du Sahara. Institut de Recherches Sahariennes, Algérie, Mém. Hors-série, t. I, 312 pp.; t. II, 275 pp.
- Dubreuil P., 1974.** Initiation à l'analyse hydrologique. Masson. ORSTOM. Paris. France.
- Duchaufour Ph., 2001.** Introduction à la science du sol. 6^e édition de l'abrégé de pédologie. Dunod. Paris. 331 p.
- D.S.A., 2015.** Direction des services agricoles de Naâma. Données Statistiques de la productions végétales et animales de la Wilaya de Naâma.
- Emberger L., 1933.** Nouvelle contribution à l'étude de la classification des groupements végétaux. Rev Gén Bot 14:1-145
- Emberger L., 1955.** Une Classification Biogéographique des Climats. Rev. Trav. Lab. Bot. Geol. Zool. Fac. Sc. Montpellier, série bot., n° 7. pp 3-43.
- E.N.I.T.A., 2000.** (Ecoles nationale d'ingénieurs des travaux agricoles de bordeaux). Agronomie des bases aux nouvelles orientations. Synthèse agricole.339 p.
- Eugenio F., Javier G., Ruiz M., Marqués F., 2013.** Manuel de télédétection spatiale, Telecan, Traitement d'images : Corrections et Classification Thématique, Acosta. l'Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. 337 p.
- F.A.O., 1983.** Garder la terre en vie : L'érosion des sols, ses causes et ses remèdes. Bulletin pédologique, vol. 50, 62p.
- F.A.O. I., II., Rome. 2012.** Harmonized World Soil Database, FAO, Rome,. IIASA, [online]. United States Geological Survey. [Access 12.02.2019] Harmonized world soil database (HWSD) version 1.2 (<http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soildatabase/HTML/>).
- F.A.O., 2015.** (Food and Agriculture Organization of the Unites Nations). Soil change : Impacts and responses. ISBN 978-92-5-109004-6.
- Fecih A., Habi M., Morsli B., 2018.** Evaluation of hydro-agricultural techniques and assessment of know-how implemented by traditional societies: Case of the region of Béni-Snous in the city of Tlemcen – Algeria. Journal of Water and Land Development. No. 39 p. 39–50. DOI: 10.2478/jwld-2018-0057.
- Ghazi A., Lahouati R., 1997.** Algérie 2010. Sols et Ressources biologiques. Doc. I.N.E.S.G., Alger, 38 p.
- Ghazi A., 2004.** La désertification en Algérie : Aspect environnementaux et sécuritaires dans le cadre de la globalisation. 5^{ème} conférence Pan-Européenne et 3^{ème} conférence de

- AFES-PRESS GMOSS. Sur : « la reconceptualisation de la sécurité dans le cadre de la mondialisation » LA HAYE. 32P
- Gay M., 1996.** Gestion régionale des sols et sensibilité à l'érosion. Laboratoire de Télédétection et de Cartographie Numérique, Ecole Supérieure de Purpan, Toulouse, 1-8.
- Gessesse B., Bewket W., Bräuning A., 2015.** Model-based characterization and monitoring of runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. *Land Degrad Dev.* 26:711–724. <https://doi.org/10.1002/ldr.2276>
- Girard M.C., Walter C., Remy J.-C., Berthelin J., et Morel J.-L., 2005.** Sols et environnement. Paris, DUNOD, 816 p
- Greco J., 1966.** L'érosion, la défense et la restauration des sols, le reboisement en Algérie. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire.
- Habi M., Morsli B., 2011.** Contraintes et perspectives des retenues collinaires dans le Nord Oust algérien. *Sécheresse* 22:49–56
- Haddouche I., 2009.** La télédétection et la dynamique des paysages en milieu aride et semi-aride en Algérie : cas de la région de Naama. Thèse Doc en biologie. Fac. Scien. Univ. Tlemcen. 211p+annexe.
- Hadeid M., 2008.** « Approche anthropique du phénomène de désertification dans un espace steppique : le cas des hautes plaines occidentales algériennes. », *Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement*, Volume 8 Numéro1. [URL:http://vertigo.revues.org/index5368.html](http://vertigo.revues.org/index5368.html).
- Hajji O., Abidi S., Hermassi T., Mekni I. 2017.** Evaluation of water erosion risk in Tunisian semi arid area. In: *Water resources in arid areas: the way forward*. Springer, Berlin Heidelberg, pp 215–249.
- Halitim A., 1985.** Contribution à l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques de l'Algérie): morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols (Doctoral dissertation, Ecole Nationale Supérieure Agronomique).
- Hammoudi A., Monjengue , Roose É., 1994.** Enquête sur l'efficacité des aménagements de DRS en Algérie. *Bull Rés Eros* 9:14–18
- Hammoudi A., Morsli B., Roose É., 2006.** Evaluation des méthodes classiques de défense et restauration des sols en Algérie. In: *Comptes rendus 14e conférence de l'ISCO l'International Soil Conservation Organisation*. Marrakech, pp 14–19
- Haregeweyn N., Berhe A., Tsunekawa A., Tsubo M., Meshesha D.T., 2012.** Integrated watershed management as an effective approach to curb land degradation: a case study of Enabered watershed, northern Ethiopia. *Environ Manage* 50(6):1219–1233. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9952-0>.
- Hasbaia M., Dougha M., Benjedou F., 2017.** Erosion sensitivity mapping using a multicriteria approach under GIS environment the case of the semiarid Hodna Basin in Central Algeria. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 6(1), 13–19.
- H.C.D.S., 2010.** La carte d'occupation des sols de la Wilaya de Naama à l'échelle de 1/50000.
- Heddadj D., 1997.** La lutte contre l'érosion en Algérie. *Bulletin Réseau Erosion*, (18), 168-175.
- Hennin S., 1976.** Cours de physique du sol, Tome I. Orstom. Paris. 159 p
- Hirche A., Boughani A., Salamani M., 2007.** Évolution de la pluviosité dans quelques stations arides algériennes. *Science et changement planétaire/Sécheresse*, Vol.18, N°4 314-20.
- Honorato R., Barrales L., Pena I., Barrera F., 2001.** Evaluacion del modelo USLE en la estimacion de la erosion en seis localidades entre la IV y IX Region de Chile. 7-14 p

- Hopkins E.S., Palmer A.E., and Chepil W.S., 1946.** Soil drifting control in the Prairies Provinces. Canada Department of Agriculture, Ottawa, ON. Publication 568. Farmers Bulletin 32.
- Houamel S., 2018.** Les steppes d'armoise blanche (*Artemisia herba-alba* Asso) dans l'Est Algérien : répartition actuelle, biodiversité, dynamique et conditions de durabilité. Thèse doc sci. agro. Univ- mohamed khider biskra.140 p.
- Horton R.E., 1945.** Erosional Development of Streams and their drainage basins. Bulletin of the Geological Society of America, 59, (1945), 275-370.
- Hugonie G., 2005.** Les espèces des risques dans les pays méditerranéens IN G.Wackermann, la géographie des risques dans le monde. Dossier n°3, 2^{ème} édition ellipses, 501p.
- Ibrahima T., Honore D., 2017.** Mapping of Soil Erosion Risk in the Diarha Watershed Using Rusle, RS and GIS. American Journal of Remote Sensing. Vol. 5, No. 4, 2017, pp. 30-42. <https://doi.org/10.11648/j.ajrs.20170504.11>.
- Kaabeche M., 1990.** Les groupements végétaux de la région de Bou Saada (ALGERIE), Essai de synthèse sur la végétation steppique du Maghreb. Thèse Doct en Scien Université de Paris-Sud centre d'ORSAY. 132P
- Kaabeche M., 2003.** Conservation de la biodiversité et gestion durable des ressources naturelles : étude sur la réhabilitation de la flore locale au niveau de la réserve « El - Mergueb » (Wilaya De M'sila, Algérie). Projet DGF, ALG/00/G35/A/1G/99. 42p.
- Kadi-Hanifi A., 1998.** L'alfa en Algérie. Syntaxonomie, relations milieu-végétation, dynamique et perspectives d'avenir. Thèse Doct., USTHB., Alger, 270p.
- Kalman R., 1967.** Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin de Sebou. Projet Sebou, Rapp. Inédit, p. 40.
- Keno B., Suryabhagavan K.V., 2014.** Multi-temporal remote sensing of landscape dynamics and pattern change in Dire district, Southern Ethiopia. J Earth Sci Clim Change 5(9):226. <https://doi.org/10.4172/2157-7617.1000226>.
- Khaldi A., 2014.** « La gestion non-durable de la steppe algérienne », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement [En ligne], Regards / Terrain, mis en ligne le 10 septembre 2014, consulté le 27 octobre 2020. URL : <http://journals.openedition.org/vertigo/15152>; DOI: <https://doi.org/10.4000/vertigo.15152>.
- Khaldoun A., 1995.** Les mutations récentes de la région steppique d'El Aricha. Réseau Parcours, 59-54.
- Koussa M., Bouziane M.T., 2018.** Apport du SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans la région de Djelfa, Algérie. Journal Scientifique Libanais, 19(1): 31-46.
- Koussa M., Bouziane M.T., 2019.** Estimation des paramètres de l'érosion hydrique par Approche SIG/USLE : cas du bassin versant de l'Oued Arab (région de Khenchela, Nord- Est de l'Algérie). Agric. For. J.,3(1): 36-45. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3239252>.
- Liamas J., 1993.** Hydrologie générale, principes et applications. 2^{ème} édition, gaetan morin. 527p.
- Landis J. R., et Koch, G.G., 1977.** The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, 159-174.
- Laouina A., Nafaa R., et Chaker M., 2000.** Gestion des eaux et des terres et dégradation dans les collines de Ksar el Kebir, Maroc. Bull. Réseau Erosion 19, 18 p.
- Laouina A., 2007.** La gestion conservatoire des eaux et des sols au Maroc. Essai de distribution spatiale. Univ M^{ed}V.Rabat. MAROC.
- Le Bissounnis Y., Le Souder C., 1995.** Mesurer la stabilité structurale des sols pour évaluer leur sensibilité à la battance et à l'érosion. ITCF. Biogène ville. France.55P.

- Lefebvre, A., Eilers W. et Chunn B., 2005.** L'agriculture écologiquement durable au Canada : Série sur les indicateurs agroenvironnementaux – Rapport No 2. Agriculture et Agroalimentaire Canada, Ottawa (Ontario). 228p.
- Le Houérou, H. N., 1979.** La désertisation des régions arides. La Recherche Paris, (99), 336-344.
- Le Houérou H. N., 1985.** Forage and fuel plants in the arid zone of North Africa, the Near and Middle East. In *Plants for arid lands* (pp. 117-141). Springer, Dordrecht.
- Le Houérou H.N., 1995.** Bioclimatologie et biogéographie des steppes aride du Nord de l'Afrique- Diversité biologique, développement durable et désertisation. Options méditerranéennes. CIHEAM. Montpellier Série B : Etudes et recherches n° 10-397p.
- Leguédou S., 2003.** Mécanismes de l'érosion diffuse des sols Modélisation du transfert et de l'évolution granulométrique des fragments de terre érodés. Thèse. Doc. Sciences Agronomiques. UNIV. ORLEANS. 178 p.
- Lorin T., Lallemand F., El-Shafey A., Darboux F., 2018.** Quelques conséquences locales et régionales des changements d'usages des sols liés aux activités humaine. Planet terre éducol. ENS de Lyon. France.
- Lowdermilk W.C., 1953.** Conquest of the land through 7000 years. Agriculture Information Bull. 99. USDA, SCS.
- Maaliou A., 2018.** Contribution à l'étude des effets du rejaillissement du sol sur les paramètres hydrauliques de l'érosion du sol en présence et absence de pluie. Thèse Doc. Fac de Génie Civil. Univ des Sci & Tech Houari Boumediene. Alger.160 p.
- M.A.D.R.P., 2015.** (Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et de la Pêche): Sommaire du Rapport national : « sur la Neutralité dans la Dégradation des Terres » « Mettre le concept en pratique ». 31p
- Maignier R.,1971.** Manuel de prospection pédologique. Edi ORSTOM Revue Géographique de l'Est 11-2 pp. 243-244.
- Mainguet M., et Dumay F., 2006.** Combattre l'érosion éolienne : un volet de la lutte contre la désertification. Comité scientifique français de la désertification. Université de Versailles Saint Quentin. Les dossiers thématiques du CSFD numéro 3. Montpellier, France. 44 p.
- Mazour M., 1991.** Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser Tlemcen Algérie, communication n 8, Grenoble, pp. 300–313.
- Mazour M., Roose É., 2002.** Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur les parcelles d'érosion dans des bassins versants du Nord- Ouest de l'Algérie. Labo. CES. Dép. Fores. Fac. Scien. Univ de Tlemcen. Algérie. 320-330p.
- Mazour M., 2004.** Etude des facteurs de risque du ruissellement et de l'érosion en nappe et conservation de l'eau et du sol dans le bassin versant de l'Isser-Tlemcen-Algérie. Thèse. Doc d'état. Fores. Univ. Tlemcen.165p.
- Mazour M., Morsli B., Roose É., 2006.** Analyse de quelques techniques traditionnelles de conservation de l'eau et du sol dans le nord-ouest algérien. In: Comptes rendus 14^e conférence de l'ISCO «l'International Soil Conservation Organisation». pp 14–19
- Mazour M., Boughalem M., & Mededjel N., 2008.** La gestion de la matière organique et ses effets sur la conservation de la fertilité du sol dans le nord-ouest de l'algérie. Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, 175-181.
- Mazour M., Benmansour M., Boughalem M., 2012.** Comportement de certaines techniques traditionnelles suites aux évènements pluviométriques exceptionnels de 2008-2009 dans le NW de l'Algérie. IRD Éditions. 16p
- M.A.T.E., 2002.** Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement. Rapport annuel du Plan National d'Actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD). P140.

- Mathys N., Brochot S., Meunier M., 2000.** Erosion quantification and rainfall runoff- erosion modelling in small marly mountainous experimental catchment of Draix, Alpes, France. Int. Symp. Gully erosion under global change D. Leuven, Abst. 91p
- Melalih A., 2012.** Analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol en zone aride cas du bassin versant d'AIN SEFRA. Thèse Magi. Sicen. Agrono. Univ Abou Bekr Belakaid. Tlemcen. 144p + Annexes.
- Melzi S., 1993.** Évolution de la végétation et du milieu dans la région présaharienne des steppes algériennes. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 4(2), 113-116.
- Merzouk A., Benabadji N., Benmansour D., & Thinson M., 2009.** Quelques aspect édapho-floristique des peuplements halophiles de l'Algérie occidentale. Première partie: Aspect édaphiques. *Bulletin de la Société Linnéenne de Provence*, 60, 1-15.
- Mielniczuk J., 1999.** Materia organica ea sustentabilidade de sistemas agrícolas. In: *Fundamentos da materia organica do solo*. Ed. Santos, G.A. y Camargo, F.A. GENESIS. Porto Alegre. 1-8pp.
- Ministère de l'environnement de l'Afrique du sud., 2002.** Dossier : Dégradation des sols et désertification sommet mondial pour le développement durable de Johannesburg (Afrique du sud). p1-5
- Ministre de l'environnement de CANADA., 1999.** Fiche technique n°02 : stabilisation mécanique des rives. Québec.
- Mokhtari E., 2017.** Impact de l'érosion hydrique sur l'envasement du barrage Ghrib. Thèse de Doctorat troisième cycle d'hydrologie, Université Hassiba Benbouali de Chlef, p.272.
- Morsli B., 1996.** Contribution à l'étude des sols de montagne : caractérisation, distribution, et susceptibilité à l'érosion, thèse. Magis. INA. Alger. 154p.
- Morsli B., Mazour M., Mededjel N., Hamoudi A., et Roose É., 2004.** Influences de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du Nord-Ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, vol. 15, n° 1, p. 96-104.
- Morsli B., Mazour M., Arabi M., Medejel N., and Roose E., 2006.** Effet des systèmes de culture sur le ruissellement et les pertes en terre, en Carbone et nutriment dans les Monts de Beni-Chougrane NO Algérie. In "Soil erosion dynamics" E. ROOSE, R. Lal, C. Feller, B. Barthes, B. Stewart, eds, CRC Press, Taylor & Francis, Boca Raton, Florida, USA :103 -124.
- Mostephaoui T., Merdas S., Sakaa B., Hanafi M. T., Benazzouz M. T., 2013.** Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'el Hamel (Boussaâda), Algérie. *Journal Algérien des Régions Arides*. N° Spécial, 131–147.
- Mrabet R., Lahlou S., Le Bissonnais Y., et Duval O., 2004.** Estimation de la stabilité structurale des sols semi-arides marocains Influence des techniques culturales simplifiées", *Bulletin du Réseau Erosion*, Vol. 23, n° 2, pp, 405-415.
- Musy A., Higy C., Reynard E., 2014.** *Hydrologie 1 - Une science de la nature, une gestion sociétale*, Presses polytechniques et universitaires romandes, 489 p.
- Nahal I., 1975.** Principes de conservation du sol. In : Masson et Cie, 140p.
- Nearing M., Foster G., Lane L., Finkner S., 1989.** A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. *Trans ASAE* 32:1587–1593.
- Nedjimi B., Houmida M., 2006.** Problématique des zones steppiques Algériennes et perspectives d'avenir. Centre Univ de Djelfa.13-19 p.
- Nedjimi B., et Guit B., 2012.** Les steppes algériennes : causes de déséquilibre. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, 2(2), 12-12

- Nedjraoui D., 1981.** Teneurs en éléments biogènes et valeurs énergétiques dans trois principaux faciès de végétation dans les Hautes Plaines steppique de la wilaya de Saida. Thèse Doct. 3^e cycle, USTHB, Alger, 156p.
- Nedjraoui D., 1990.** Adaptation de l'alfa (*Stipa tenacissima* L) aux conditions stationnelles. Thèse Doct. USTHB, Alger, 256p.
- Nedjraoui D., Mostefa A. H. A. B. S., & Alamani B., 1999.** Suivi diachronique des processus de désertification in situ et par télédétection des hautes plaines steppiques du Sud-Ouest Oranais". URBT et INC Alger, 9-15.
- Nedjraoui D., 2000.** Les ressources pastorales en Algérie. Doc FAO en ligne : www.fao.org/ag/agp/agpc/doc/counprof/Algeria/Algerie.htm.
- Nedjraoui D., 2004.** Evaluation des ressources pastorales des régions steppiques algériennes et définition des indicateurs de dégradation. Unité de Recherche sur les Ressources Biologiques Terrestres URBT, BP 295 Alger, Gare, Algérie .243P.
- Nedjraoui D., et Bédrani S., 2008.** « La désertification dans les steppes algériennes : causes, impacts et actions de lutte », Vertigo - la revue électronique en sciences de l'environnement, Volume 8 Numéro 1, mis en ligne le 01 avril 2008. URL: <http://vertigo.revues.org/5375>. Consulté le 11 mars 2014
- Neitsch S., Arnold J., Kiniry J., Williams J., 2011.** Soil & water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources Institute, pp 1–647
- Oliver J. E., 2008.** Encyclopedia of world climatology. Springer Science & Business Media. Indiana state university. 854p
- O.N.M., 2019.** Office National Météorologique : Données de précipitations. Format Excel.
- O.N.C.L.C.D., 2004.** (Organe national de coordination sur la lutte contre la désertification), Direction Générale des Forêts, 2004, Rapport national de l'Algérie sur la mise en œuvre de la Convention de Lutte contre la Désertification. DGF, Alger, septembre 2004, p35.
- Osborn H., Simanton J. et Renard K., 1976.** Use of the Universal Soil Loss Equation in the semi-arid Southwest. Soil erosion: prediction and control. Special publication n°21, the proceedings of a National Conference on Soil Erosion, Tuscon, May 24-26, 41-48.
- Papy F., et Le Bissonais Y., 1997.** Les effets du ruissellement et de l'érosion sur les matières en suspension dans l'eau. L'eau dans l'espace rural : production végétale et qualité de l'eau. In : INRA, 411 p.
- Pham T. G., Degener J., Kappas M., 2018.** Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. International Soil and Water Conservation Research, 6(2), 99-110. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>.
- Piton G., Carlados S., Recking A., Tacnet J-M., Liebault F., Kuss D., Queffelec Y., et Marco O., 2019.** « Fonctions des barrages de correction torrentielle », Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Environnement, Nature, Paysage, document 896, mis en ligne le 15 mai 2019, consulté le 17 mai 2019. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/32190> ; DOI : 10.4000/cybergeog.32190
- Pontanier R., Mhiri A., Akrimi N., Aronson J. & Le Floc'h E., 1995.** L'homme peut-il refaire ce qu'il a défait ? (eds) John Libbey Eurotext, Paris. 455p.
- Pouget M., 1980.** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-algéroises. Trav. Et. Doc. ORSTOM. Paris, 555p.
- Raharinaivo S., 2008.** Les techniques de correction des ravines et de stabilisation des Lavaka. Tirées des acquis du PLAE. Programme de Développement de Madagascar. 39p
- Rango A., Arnoldus H.M.J., 1987.** Aménagement des bassins versants (Watershedv management). Cahiers techniques de la FAO, pp. 1–11.

- Rapp A., 1972.** Conclusions from the DUSER soil erosion project in Tanzania. *Geografiska Annaler* 54, A : 377-379.
- Recking A., 2014.** "Relations between bed recharge and magnitude of mountain streams erosions", *Journal of Hydro-Environment Research*, Vol. 8, No.2, 143–152.
- Regagba Z., 2012.** Dynamique des populations végétales halophytes dans la région Sud-Est de Tlemcen. Aspects phytoécologiques et cartographiques. Thèse de Doctorat en Ecologie et Environnement. Université Abou- Bekr Belkaid de Tlemcen, 161p
- Renard K.G., Foster G.A., Weesies D.K., Mccool., Yoder D.C., 1997.** Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agric. Handb.* No. 703 404.
- Riou G.,1990.** L'eau et les sols dans les géosystèmes tropicaux. *Système d'érosion hydrique.* Masson, Paris, 221p.
- Rodriguez J., Suárez M., 2010.** Comparison of mathematical algorithms for determining the slope angle in GIS environment. *Aqua-LAC* 2:78–82
- Rodriguez-Juan J., Sbai A., El Harradji A., 2015.** Techniques de conservation des eaux et des sols au niveau du bassin versant de Mestferki (Chaîne de Jerada, Nord-Est du Maroc. *Scientific Association for Water Information Systems Journal of SAWIS*, 517 ISSN: 2351-9096 Volume – 2015 - N° 01. (1), 33-39.
- Roose É., 1977.** Érosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. Vingt années de mesures en parcelles expérimentales. Document Orstom 78. Paris : Orstom éditions.
- Roose É., 1987.** Évolution des stratégies de lutte antiérosive. Nouvelle démarche proposée en Algérie: la GCES. *Bull. Réseau Érosion*, 7 : 91-96 p.
- Roose É.,1990.** Gestion conservatoire des eaux et de la fertilité des sols dans les paysages soudano-sahéliens de l'Afrique occidentale. ORSTOM. Fonds Documentaire N°27.542.ex1. Montpellier. France.55-72p.
- Roose É., Arabi M., Brahmia K., Chebani R., Mazour M., Morsli B., 1993.** Érosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne. Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par la GCES : Synthèse des campagnes 1984-1995 sur un réseau de 50 parcelles d'érosion. *Cah Orstom Sér Pédol* 1993 ; 28. 289308.
- Roose É., 1994.** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols. FAO, Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, Rome, Italie. *Bulletin pédologique* 70. 502 pp. ISBN 92-5-203451-X.
- Roose É., 1996.** Méthode, mesures, des états de surface du sol et la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider un diagnostic de terrain de risques de ruissellement et l'érosion...*Bull. Res. Eros. IRD.* Montpellier. 87.9p.
- Roose É., 1998.** L'érosion à l'ORSTOM. 40 ans de recherche multidisciplinaires, réseau du centre ORSTOM. France pp122-134.
- Roose É., Chibbani R., Bourougaa L., 1999.** Ravinement en Algérie : typologie, facteurs de contrôle, quantification et réhabilitation. *Bulletin –réseau érosion*, p122-138.
- Roose É., SABIR M., 2001.** Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen : classification en vue d'un usage renouvelé. Réseau Erosion.IRD.ORSTOM. Montpellier.France.109p.
- Roose, É. 2004.** Évolution historique des stratégies de lutte antiérosive--Vers la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 15(1), 9-18.
- Roose É., SABIR M., Laouina A., 2010.** Gestion durable des eaux et des sols au Maroc Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. IRD Éditions. Institut de recherche pour le développement. Marseille. France.362 p.

- Rosenfiel G., Filzpatrick-lins K. A., 1986.** Coefficient of agreement as measure of thematic classification accuracy. *Photogram. Eng. Remote Sens.*, 1986. 52, pp 223-227.
- Ruelle P., Séné M., Juncker E., Diatta M., Perez P., 1990.** Défense et restauration des sols. Dakar : ISRA, (Fiches Techniques : ISRA, vol. 1, n. 1).50 p.
- Ryan J., 1982.** A perspective on soil erosion and conservation in Lebanon. Publication n°69, American University of Beirut, 15-38.
- Sadiki A., Bouhlassa S., Auajja R., Faleh A., Macair J. J., 2004.** Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc) : cas du bassin versant de l'oued Boussouab. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre*, 26, 69–79. <https://doi.org/10.19044/esj.2016.v12n32p277>.
- Sabir M., et Roose É., 2004.** Influence du couvert végétal et des sols sur le stock de carbone et les risques de ruissellement et d'érosion dans les montagnes méditerranéennes du Rif occidental, Maroc. *Bulletin du Réseau Érosion*, vol. 23, p. 144-154.
- Sari D., 1977.** L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Alger, SNED, 624 p.
- Semwal P., Khobragade S.D., Nainwal H.C., 2017.** Modelling of recent Erosion rates in a Lake catchment in the North-Western Siwalik Himalayas. *Environmental Processes*, 4, 355–374. <https://doi.org/10.1007/s40710-017-0234-y>.
- Shigeo K., 2001.** Guide technique de la conservation des terres agricoles. Redonner au sol sa productivité dans une perspective durable. Documentation technique de la JGRC. Générer l'abondance dans le Sahel par la lutte contre la désertification Vol. 5 Société Japonaise des Ressources Vertes. Département des activités outre-mer. Niamey, Niger. 43P.
- Shin G.J., 1999.** "The analysis of soil erosion analysis in watershed using GIS", Ph.D. Dissertation, Department of Civil Engineering, Gang-won National University.
- Soltner D., 1999.** Les bases de la production végétale Tome 2. Edit. Scien.et Tech. Agricole. Paris.183P.
- Soltner D., 2000.** Les bases de la production végétale, Tome I (le sol et son amélioration).22^e édition. Collection science et technique agricole. 454 p.
- Souidi Z., Hamimed A., Donze F., 2014.** Cartographie du risque de dégradation des terres en région semi-aride : Cas des Monts de Beni Chougrane dans le Tell Occidental Algérien. *Geo Eco Trop* 38 :85–102.
- Seltzer P., 1946.** Le climat de l'Algérie. Alger. Institut de météorologie et physique du globe, 219P.
- Singh A., 1986.** "Change Detection in the Tropical Forest Environment of Northeastern India Using Landsat", *Remote Sensing and Land Management*, cdite par MJ, Eden. J.T. Parry. New Zealand. pp. 237-253.
- Slimi A., 2008.** Mouvement de terrain et ravinements dans le bassin supérieur de l'Oued Djemaa (versant sud du Djurdjura, Algérie). Thèse doctorat en Géographie-physique. Université PARIS XII VAL-DE-MARNE. France.309p.
- Stewart Ph., 1968.** Quotient pluviométrique et dégradation bio sphérique : quelques réflexions. *Bull. soc. Hist. Nat. Afrique du Nord*. Alger. 59 (1-4), pp 23- 36.
- Stone R.P., Hilborn D., 2000.** Équation universelle des pertes en Terre (USLE), Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales, Ontario. 08p.
- Strahler A.N., 1957.** Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology. *Am. Geophys. Union Trans.*, 38 p. 913-920.
- Tahiri M., Tabyaoui H., El Hammichi F., Tahiri A., et El Hadi H., 2014.** Evaluation et Quantification de l'Erosion et la Sédimentation à partir des Modèles RUSLE, MUSLE et déposition intégrée dans un SIG. Application au Sous-Bassin de l'Oued Sania (Bassin

- de Tahaddart, Rif nord occidental, Maroc). *European Journal of Scientific Research* ISSN 1450-216X/1450-202X Vol. 125 No 2 October, pp 157-178.
- Taibi A.N., 1997.** Le piémont sud du djebel Amour (Atlas saharien, Algérie) apport de la télédétection satellitaire à l'étude d'un milieu en dégradation. Univ. Denis Diderot. Paris VII. Thèse Doc.310p.
- Tchotsua M., et Bonvallot J., 2000.** L'érosion urbaine au Cameroun : processus, causes et stratégies de lutte. *Bull. Réseau Erosion* 19, 8 p.
- Touaibia B., 2010.** Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. *Sécheresse*, 21(4), 333-335.
- Toubal A.K., Achite M., Ouillon S., Dehni A., 2018.** Soil erodibility mapping using the RUSLE model to prioritize erosion control in the Wadi Sahouat basin, north-west of Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 210. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6580-z>.
- Toumi S., Meddi M., Mahe G., Brou Y.T., 2013.** Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Mina en Algérie par télédétection et SIG. *Hydrological Sciences Journal*, 58, 1542–1558. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.824088>
- Traore K., Adama M.T., 2008.** Capitalisation des initiatives sur les bonnes pratiques agricoles au BURKINA FASO. Version finale.
- Veyret Y., Vigneau J.P., 2004.** Géographie physique. Milieu et environnement dans le système terre. Armand Colin, 368P.
- Woldemariam G.W., Iguala A.D., Tekalign S., Reddy R.U., 2018.** Spatial modeling of soil erosion risk and its implication for conservation planning: The case of the Gobebe Watershed, East Hararghe Zone, Ethiopia. *Land*;7(1):1-25. <https://doi.org/10.3390/land7010025>.
- Wischmeier W.H., et Smith D.D., 1978.** Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture. *Agriculture Handbook* n°537.
- Yagoubi M., et Temar T., 2002.** L'impact du phénomène de la désertification sur le développement durable. *Revue Des économies nord Africaines* N°5. Université de M'sila – ALGERIE,71-96p
- Zaher H., 2012.** Conservation des sols et de l'eau. École Nationale Forestière d'Ingénieurs, Département Sol, Eau, Biodiversité, Maroc.25P. URL : <http://www.ma.auf.org/erosion/> Co
- Zougmore R., Zida Z., et Kambou N.F., 1999.** Réhabilitation des sols dégradés : rôles des amendements dans le succès des techniques de demi-lune et de Zaï au Sahel. *Bulletin Rés. Erosion*, 19 : 536-550p.



Annexes

Tableau A. Récapitulatif des caractéristiques des seuils en pierres sèches

Dimension de l'ouvrage				V(m ³)	Fd	anc	Emp	Dt	Dv	EF	st	ad	ct	Age	Rep	E.Am
N°	L(m)	l(m)	H(m)													
01	85	1.5	0.9	114.75	+	+	0	+	-	+	+	-	+	2000	-	+
02	10	2.0	0.9	18	+	+	25	+	-	+	+	-	+	2000	-	+
03	10	2.0	0.9	18	-	-	35	+	-	-	-	-	+	2000	-	--
04	12	1.5	0.8	21.6	-	-	0	+	-	-	-	-	+	2000	-	--
05	17	2.0	0.9	30.6	-	+	15	+	-	-	--	-	+	2000	-	-
06	10	2.0	0.8	16	-	-	10	-	-	-	--	-	+	2000	-	--
07	10	2.0	0.9	18	-	-	12	+	-	-	--	-	+	2000	-	--
08	07	1.5	0.8	12.6	-	-	26	+	-	-	--	-	+	2000	-	-
09	12	1.5	0.8	14.4	-	-	17	+	-	-	--	-	+	2000	-	-
10	07	2.0	0.6	8.4	+	+	15	+	-	+	+	+	+	2004	-	+
11	09	1.5	0.6	8.1	+	+	15	+	-	+	+	-	+	2004	-	+
12	10	1.6	0.9	14.4	+	+	0	+	-	+	+	-	+	2004	-	+
13	24	1.5	1.0	36	+	+	37	+	-	+	++	+	+	2004	-	+
14	20	1.5	0.9	27	+	+	24	+	-	++	+	+	+	2004	-	+
15	15	1.5	0.9	20.25	+	+	12	+	-	++	+	+	+	2004	-	++
16	10	1.5	0.6	13.5	-	-	08	+	-	+	--	-	+	2004	-	-
17	14	1.5	0.9	18.9	+	+	0	+	-	+	+	+	+	2006	-	+
18	07	1.5	0.9	9.45	-	-	16	+	-	-	-	-	+	2006	-	-
19	06	1.5	0.5	4.5	-	-	26	+	-	-	-	-	+	2006	-	-
20	07	1.5	0.5	5.25	-	+	04	+	-	+	+	-	+	2006	-	+

➤ **Signification des symboles donnés aux enchères d'analyses :**

N° : numéro du seuil ; L : longueur ; l : largeur ; H : hauteur ; V : volume du seuil mesuré ; Fd : Fondation + bonne - médiocre ; Anc : Ancrage + bon - médiocre ; Emp : Emplacement par rapport au seuil à l'amont (distance en mètre par rapport au seuil précédent) Dt : Dimensionnement technique + dans les normes ; - hors norme ; Dev : Déversoir + présent - Absent ; Eff : Efficacité par rapport au sédiment déposé à l'amont ; St : Stabilité + bonne - mauvaise ; Ad : Adaptabilité ; Ct : Coût de réalisation ++ coûteux + moyennement coûteux - moins coûteux ; Age : l'âge de l'ouvrage en fonction de la date de réalisation ; Rep : Reprise biologique + présent - Absent ; E.Am : Etat des aménagements antiérosifs -- fortement dégradé - assez dégradé + peu dégradé.

Tableau B. Récapitulatif des caractéristiques des seuils en gabion

Dimension de l'ouvrage				V(m ³)	Fd	anc	Emp	Dt	Dv	EF	st	ad	ct	Age	Rep	E.Am
N°	L(m)	L(m)	H(m)													
01	14	1	1.5	21	+	+	0	+	+	+	+	+	++	2000	+	++
02	10	1	2	20	+	+	30	+	+	+	+	-	++	2000	+	+
03	11	1	2	22	+	+	18	+	+	+	+	+	++	2000	+	+
04	08	1	1.5	12	+	-	15	+	+	-	+	-	++	2000	-	--
05	09	1	1	09	+	-	14	-	+	-	-	-	++	2000	-	-
06	12	1	1.5	18	+	+	20	+	+	+	+	+	++	2000	+	+
07	10	1.5	1.5	22.5	+	+	20	+	+	+	+	+	++	2000	+	+
08	10	2	2	40	+	-	0	-	+	-	+	+	++	2000	+	-
09	11	2	2	44	+	-	15	+	+	-	-	+	++	2000	+	-
10	10	1.5	1.5	22.5	+	+	20	+	+	+	+	+	++	2000	+	+
11	14	2	1.5	42	+	+	0	+	-	+	+	+	++	2006	-	+
12	15	2	2	60	+	+	25	+	+	+	+	-	++	2006	+	+
13	16.5	2	1	33	+	+	18	+	+	+	+	-	++	2006	+	+
14	14	1.2	1	16.8	+	-	20	+	+	+	-	+	++	2006	+	++
15	14	1.5	2	42	+	+	20	+	+	+	+	+	++	2006	+	++
16	15	1.5	1.5	33.75	+	+	0	-	+	+	+	-	++	2006	+	+
17	11	2	1.5	33	+	+	18	+	+	+	+	-	++	2006	+	++
18	10	2	1.5	30	+	+	20	+	+	+	+	+	++	2006	+	++
19	10	1.5	1	15	+	+	15	+	+	+	+	+	++	2006	+	+
20	10	1.5	1.5	22.5	+	+	15	+	+	+	+	+	++	2006	+	++

➤ **Signification des symboles donnés aux enchères d'analyses :**

N° : numéro du seuil ; L :longueur ; l :largeur ; H :hauteur ; V :volume du seuil mesuré ; Fd : Fondation + bonne - médiocre ; Anc : Ancrage +bon - médiocre ; Emp : Emplacement par rapport au seuil à l'amont(distance en mètre par rapport au seuil précédent) Dt : Dimensionnement technique + dans les normes ; -hors norme ; Dev : Déversoir +présent -Absent ; Eff : Efficacité par rapport au sédiment déposé à l'amont ; St :Stabilité + bonne - mauvaise ; Ad :Adaptabilité ; Ct : Coût de réalisation ++coûteux + moyennement coûteux - moins coûteux ;Age :l'âge de l'ouvrage en fonction de la date de réalisation ;Rep :Reprise biologique + présent - Absent ; E.Am : Etat des aménagements antiérosifs --fortement dégradé - assez dégradé + peu dégradé.

Annexes

Tableau C. Récapitulatif des retenues collinaires réalisées dans notre zone d'étude

N°	Nom de la retenue	Nom de l'oued	Type de digue	Nature de la digue	Etat de digue	Capacité (m3)	Hauteur de la digue	Année de la réalisation	Date d'exploitation	X	Y
01	Morghad	Morghad	Diguette	Maçonnerie	Bonne	324 230	3.50	2006	2006	721229.25	3637498.79
02	Boughalaba	Boughalaba	Diguette	Maçonnerie	Bonne	46 430	4.25	2006	2006	725337.32	3632277.91
03	Belafloufa	Belafloufa	Diguette	Terre	Bonne	60 439	5.00	2005	2005	719479.83	3626215.98
04	Oulakak	Oulakak	Retenue	Terre	Bonne	9 642 250	9.00	2006	2006	673059.91	3619022.41
05	Hassi mor	Hassi mor	Ced	Terre	Bonne	118 430	5.20	2006	2006	32°38'52.5''	000°51'33.9''
06	Tala	Tala	Ced	Maçonnerie	Bonne	450 000	6.50	2004	2004	671222.81	3639721.61
07	Forthassa	Forthassa	Ced	Terre	Bonne	160 000	5.50	2005	2005	0671215	3639658
08	Ouregh	Ouregh	Ced	Terre	Bonne	497 829	5.86	2006	2006	684887.65	3626116.79
09	Djebel ouast	Djebel ouast	Diguette	Terre	Bonne	40 000	5.30	2006	2006	663514.53	3630256.05
10	Segaa	Segaa	Diguette	Maçonnerie	Bonne	74 364	4.40	2006	2006	32°48'03.8''	000°53'43.5''
11	bab lahmar	bab lahmar	Diguette	Maçonnerie	Bonne	80 000	7.50	2004	2004	670381.17	3627716.86
12	Sfissifa	Sfissifa	Diguette	Maçonnerie	Bonne	21 187	6.55	2006	2006	699497.13	3623866.75
13	Harth brahim	Harth brahim	Diguette	Maçonnerie	Bonne	110 000	3.00	2005	2005	676746.44	3632455.10
14	Beni guil	Beni guil	Diguette	Terre	Bonne	50 066	4.00	2006	2006	32°43'26.8''	001°04'25.8''
15	Rouisset	Rouisset	Diguette	Terre	Bonne	30 000	4.34	2004	2004	0667953	3630383
16	Lamkheizen	Lamkheizen	Diguette	Terre	Bonne	54 000	4.50	2006	2006	701712.27	3624728.11

Questionnaire

Annexe. 1 Questionnaire de l'enquête sur la conservation de l'eau et des sols au
zone aride le cas de Ain Sefra Naâma Algérie.

A. Questionnaire pour les chefs de famille N°: LAOUNI

Nom de l'enquêteur: MELALIH A.

Langage de l'interview: Arabe Langage de l'inscription des réponses: Français

A. Information socio-économique Date de l'interview: 18/04/2017

1. Nom de la personne interrogée: LAOUNI KADA

2. Nom du village: BEN HANAJIR

3. Age: 54 Ans.

4. Position dans la famille: Père

5. Nombre de membres dans la famille: 07

6. Nombre d'épouses: 02

7. Activité principale du chef de famille: Agropasteur

8. Autre activité: /

10. Membres de la famille disponibles pour les travaux agricoles: 04

11. Composition de la famille:

- Homme travaillant à l'exploitation: 02
- Femme travaillant à l'exploitation: 02
- Enfant de sexe masculin travaillant à l'exploitation: 01
- Enfant de sexe féminin travaillant à l'exploitation: 02
- Homme ne travaillant pas à l'exploitation: /
- Femme ne travaillant pas à l'exploitation: /
- Enfant de sexe masculin ne travaillant pas à l'exploitation: /
- Enfant de sexe féminin ne travaillant pas à l'exploitation: /

B. Informations sur l'élevage /l'agriculture

12. Quel type(s) d'animaux élevez/gardez-vous?/Nombre?

Bovins [4] Moutons [4], Chèvres [2], Anes [2], Chevaux [1], camelins [1], Lapins [2], Poules [6]

Canards [-], Pintades [-], Dindes [-], Pigeons [-], Abeilles [3], Chiens [4], Chats [2]

Autres (nom/Nombre). Bovins [6]

13. Quel type de bétail élevez-vous principalement? Ovin

Questionnaire

14. Quelle méthode d'élevage utilisez-vous (en dehors de l'élevage nomade)? *Semi nomade*
15. Qui garde vos troupeaux? *Fils*
16. Où trouvez-vous des pâturages pour votre bétail pendant la saison sèche? *Djebel et Haïrech*
17. Où trouvez-vous de l'eau pour votre bétail pendant la saison sèche? *Forage.*

B.1. La Transhumance

- Quelle est la date de la dernière transhumance vers le sud ? Vers le nord ? *vers le nord = Juillet 2017*
- Quelle a été la fréquence de ces transhumances au cours des 20 dernières années ? *05*
- Quelles sont les périodes de déplacements ? *été*
- Quels sont les lieux de destination ? *Tlemcen - Sibli Bel Abbès*
- Quels sont les itinéraires empruntés ? *Naama - Tlemcen ou Naama Sibli Bel Abbès.*
- Quels sont les moyens utilisés ? *Camion + Toyota Hilux*
- Quel est le coût des déplacements ? *12000 DA / voy de camion*
- Quels sont les effectifs transhumants (ovins et caprins) ? *ovin = 68 - Caprin = 34*
- Qui sont les personnes accompagnant le cheptel ? *Père + fils*
- Quelles sont les sources d'alimentation et d'abreuvement et quels sont les coûts ? *Apport par le fermier (3000 kg)*
- Quelles sont les pertes ? *-*
- Quelles sont les superficies louées ? *15 Ha*
- Quels sont les prix de location ? *2000 DA / Ha*
- Quels sont les soins vétérinaires apportés sur place ? *Vaccin*
- Est-ce qu'il ya des animaux vendus sur place ? *Oui*
- Quelle est la durée du séjour dans le nord et la durée du séjour dans le sud ? *Dans le Nord 23 mois*
- Quelles sont les raisons d'effectuer la transhumance ? *Eviter l'achat des aliments concentrés*

B.2. La céréaliculture

- Quelle est la superficie possédée et la superficie louée ? *07 Ha*
- Quelle est la superficie mise en culture ? *05 Ha*
- Quelle est la superficie laissée en jachère ? *02 Ha*
- Quels types de cultures sont pratiqués ? *Orge*
- Quelles quantités de semences sont utilisées en bonne, moyenne et mauvaise années : prix d'achat, provenance de la semence ? *194 kg / Ha - propre semences.*
- Quelle est la période des semis ? *Octobre - Novembre*
- Quels sont les matériels et la main d'œuvre utilisés ? *tracteur*
- Est-ce qu'il ya fertilisation et comment ? *fumier.*
- Comment est pratiqué le désherbage ? *Non.*

Questionnaire

- Est-ce que l'irrigation est pratiqué et comment ? *Oui par aspersion*
- Quels sont les coûts de l'irrigation ? *Facture.*
- Quelle est la période de récolte ? *juin*
- Quels sont les matériels et la main d'œuvre utilisés ? *à la main - rarement avec la M. B.*
- Quelles sont les rendements en grain et en paille en bonne, moyenne et mauvaise année ? *07 qx/ha*
- Quelle est la destination de la récolte ? *Auto consommation*
- A quel prix les grains sont vendus ? Et à qui ? -

C. Économie rurale de subsistance

44. Votre famille ramasse-t-elle du bois de feu dans la brousse? Oui Non
45. Votre famille utilise-t-elle du bois/gaz ou les deux pour faire la cuisine? Oui Non
46. Votre famille utilise-t-elle l'énergie solaire pour faire la cuisine? Oui Non
47. Votre famille utilise-t-elle un de ces types d'énergie pour faire la cuisine ou bien plusieurs?
Tous les trois: deux (indiquez lesquels)....., un seulement (indiquez lequel).....
48. Achetez-vous du bois de feu? Oui Non
49. Achetez-vous du charbon de bois? Oui Non
50. Ramassez-vous du bois de feu pour le vendre? Oui Non
52. De quelle manière le prix, l'approvisionnement et la distribution des carburants vous ont-ils affecté au niveau des travaux agricoles de la saison sèche? *électricité.*
- (b) De quelle manière ont-ils affecté le prix des pompes? -

D. Techniques de conservation de l'eau et des sols

53. Irriguez-vous encore vos cultures? Oui Non
54. Si oui, indiquez la méthode utilisée: *par Aspersion*.....
55. Si non, comment procurez-vous de l'eau à vos plantes?.....
56. Utilisez-vous une méthode spéciale de préparation des terres afin de conserver l'humidité des sols? Oui Non
57. Si oui, décrivez la méthode de préparation des terres que vous utilisez:.....
58. Est-elle une méthode de conservation des sols? Oui Non
59. Utilisez-vous des méthodes de conservation de l'eau et des sols? Oui Non
60. Pendant combien de temps cultivez-vous ces plantes sans irrigation ni eau de pluie? *Jamais*
61. Quels sont les types de sols dans la région? *Sableux-limonéux*
62. Y-a-t-il des terrasses dans vos champs? Oui Non

Questionnaire

63. Qui les a construites? -
64. Quand les a-t-on construites? -
65. Sont-elles construites chaque année? Oui [] Non []
66. Comment sont-elles entretenues? famille/communauté/main-d'œuvre salariée/services du gouvernement? :.....
67. Mis à part les terrasses, Quelles autres techniques de conservation de l'eau et des sols utilisez vous dans vos champs? : *Apport de fumier, billon.*
68. Est-ce que ce sont des aménagements permanents ou qui demandent un entretien annuel:
69. Comment sont-ils entretenus? famille/communauté/main-d'œuvre salariée/services du gouvernement? : *Famille*.....
70. Devez-vous dédommager les membres de la communauté qui vous aident pour les travaux agricoles (nourriture, transport etc.) pour les travaux de conservation de l'eau et des sols? Combien les payez-vous?.....
71. Quels types d'arbre conservez-vous? *Oranger, Figue, Grenadier, Abricotier* --
72. Quels types plantez-vous vous-même? *Maraichères - fourrages.*
73. Où se trouvent-ils/ sont-ils plantés dans vos champs? *Oui*
74. Où obtenez-vous les plants/les graines? Pépinières du gouvernement/Privées/marché : *Phytopharmacie*
75. Quelles espèces (donnez la liste)?..... *toutes espèces confondues*.....
76. Est-ce que le personnel des pépinières vous indique le nom de ces espèces? -
77. Comment plantez-vous ces arbres dans vos champs? *en ligne*
78. (a) Pensez-vous que les techniques de CES présentent des avantages/un bon rapport entre le travail investi et les résultats obtenus ou les deux? Yes No [].
- (b) Quels avantages?..... *bonne production*.....
79. Est-ce que d'autres agriculteurs vous ont demandé des conseils sur des techniques utilisées pour les travaux des sols ou pour la CES? Oui [] Non
80. Si oui, quelles méthodes (donnez la liste)..... -.....
81. Quels sont les obstacles les plus importants que vous devez surmonter//les contraintes auxquelles vous devez vous adapter dans la région lorsque vous utilisez des méthodes de conservation de l'eau et des sols.
- ✓ Main-d'œuvre
 - ✓ Propriété foncière
 - ✓ Règlements officiels (du gouvernement) []
 - ✓ Caractéristiques des plantes cultivées []
 - ✓ Caractéristiques des sols

Questionnaire

- ✓ Caractéristiques hydrauliques
- ✓ Autres (indiquez lesquels)... *Facture d'électricité*

82. Quelles organisations/institutions vous ont aidé pour mettre en œuvre des techniques de conservation de l'eau/des sols?

- Ministères []
- Direction
- Commune []
- Instituts de recherche []
- Organisations locales []
- Autres:.....

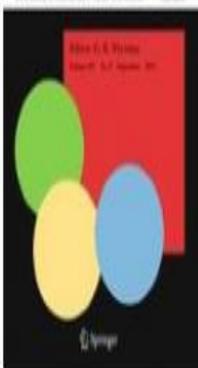
83. Que devrait faire l'administration gouvernementale pour aider les agriculteurs en ce qui concerne la CES?

1. *Construction de séquia*
2. *Fourniture gratuitement les plants brise-vent.*
- 3.
- 4.



Publication

ENVIRONMENTAL
MONITORING
AND ASSESSMENT



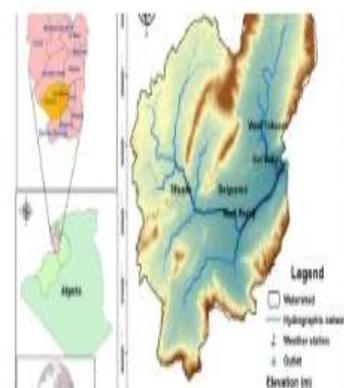
Volume 193, issue 1, January 2021

33 articles in this issue

Analysis of water and soil conservation techniques at the Ain Sefra arid watershed (Ksour Mountains, southwest Algeria)

Ahmed Melalih & Mohamed Mazour

OriginalPaper | Published: 06 January 2021 | Article: 33





Analysis of water and soil conservation techniques at the Ain Sefra arid watershed (Ksour Mountains, southwest Algeria)

Ahmed Melalih · Mohamed Mazour

Received: 15 May 2020 / Accepted: 29 December 2020

© The Author(s), under exclusive licence to Springer Nature Switzerland AG part of Springer Nature 2021

Abstract In Algeria, the arid steppe watershed currently suffers from serious environmental problems, including land degradation, poor water resource management, soil conservation, and land cover management. This situation is manifested by several events such as soil erosion, depletion of water resources, and loss of biodiversity, which are partly related to the acceleration of the soil degradation process. In order to improve the functioning of ecosystems in these watersheds, public authorities and farmers have undertaken restoration and protection efforts through land-use planning programs. The objective of this study is to test the stability, reliability, and anti-erosion effectiveness of these anti-erosion developments that currently exist on three sites, Sfissifa, Belguered, and Ain Sefra, in the face of the exceptional extreme rainfall events recorded especially in 2007–2008 (250 mm), both on cultivated land and in pasture and forest areas. We found that the traditional techniques generally used by farmers (terraces, stone

cordons, toub walls, use of manure, cultivation in tanks and on ridges) have a great positive impact on water and soil conservation at the level of the cultivated plots. In addition, the modern techniques developed by the State (torrential correction, hill retention, reforestation) have proved to be very useful for water and soil conservation on a large scale, i.e., at the level of watersheds. This combination of these two types of development is almost indispensable to ensure a very positive impact on land productivity and the reduction of the risk of degradation.

Keywords Conservation practices · Development · Arid region · Ksour Mountains · Algeria

Introduction

The Mediterranean slopes have the reputation of being very sensitive to the phenomena erosion for ecological reasons (erratic rains, young relief), historical reasons (succession of civilizations), and demographics (strong land pressure) (Roose and Sabir 2002). Among these factors, climate is the most important, which takes on an aggressive character and causes rapid degradation of soils when they are not protected by sufficient dense vegetation (Mazour 1991).

Algeria's steppe regions are exposed to human and livestock pressures that contribute to considerable degradation of the country's soil and vegetation cover. They are subject to various natural processes relating to wind deflation, water erosion, and salinization. In addition,

A. Melalih (✉)
Laboratory of Applied Hydrology and Environment
(LHYDENV), Abou Bakr Belkaïd University, BP 230, New
Campus, 13000 Tlemcen, Algeria
e-mail: ahmed82_agro@yahoo.fr

A. Melalih · M. Mazour
Laboratory of Applied Hydrology and Environment
(LHYDENV), Ain Temouchent University Center, BP 284,
46000 Ain Temouchent, Algeria

M. Mazour
e-mail: mohamed_mazour@yahoo.fr

Published online: 06 January 2021

other anthropogenic activities such as land clearing, indiscriminate cereal cultivation, overgrazing, and sometimes inappropriate agricultural practices are human-induced factors that have aggravated soil degradation processes (Melalih 2012).

Soil erosion is broadly defined as the accelerated removal of topsoil from the land surface through water, wind, or tillage. Water erosion on agricultural land occurs mainly when overland flow entrains soil particles detached by drop impact or runoff, often leading to clearly defined channels such as rills or gullies (FAO and ITPS 2015).

Soil loss due to erosion is a global problem, especially affecting natural resources and agricultural production (Pham et al. 2018). Over the last decade, the average rates of soil erosion throughout the world are estimated between 20 Gt (gigaton) year⁻¹ to over 30 Gt year⁻¹ (FAO and ITPS 2015).

To cope with this problem, and maintain the environmental balance in watersheds, farmers strive to remove constraints that hinder sustainable development (Laouina 2010). The most common method consists of the implementation of multiple water and soil conservation techniques corresponding to different mechanical, biological, cultural, and agronomic practices, and structures, recommended by local populations or by the State, to improve the management of natural resources (El Abbassi 2000). Controlling the phenomenon of erosion requires above all a good understanding of the behavior of soils with regard to erosion.

The natural conditions of these regions (climate, terrain, soil, and vegetation cover) associated with a particular rural society, which has always been able to implement forms of community management, have contributed to the improvement of water management techniques and land conservation that has served as a support for the survival of an often too large population compared to available resources (Mazour et al. 2008). According to the same author, many traditional strategies have been developed. These strategies are certainly still operational in certain regions of Algeria, but they often remain scattered and sometimes abandoned or ignored.

The aim of this work is to identify and inventory the different water and soil conservation techniques in the Ain Sefra catchment area. The objective is to establish a diagnosis as well as the assessment of the current state of these resource conservation practices, and of the watershed and their performance. In addition, this work

underlines the participation of the different land and water conservation stakeholders, as well as the field implementation of these techniques, carried out either by peasants or by the competent state services of the Algerian states.

This work aimed to examine the main traditional and modern techniques of water and soil conservation in a context of aridity and to evaluate the impact of these anti-erosion techniques on the sites of Sfisifa, Belguered, and Ain Sefra in terms of water and soil conservation and improvement of agricultural productivity in general in the region. The identification and classification of these water and soil conservation techniques (traditional and new) are based on field explorations and the examination of pre-established questionnaires. A spatialization (location and distribution of developments in space) of certain water and soil conservation techniques (defensions, hydraulic works, biological, and mechanical developments) is also carried out.

Materials and methods

The field studied is very much subject to the phenomenon of erosion. The relief, but also the strong aggressiveness of the climate, strongly accentuates this phenomenon. In addition, human activities lead to a significant modification of the plant cover due to the extension of crops and intensive overgrazing. This led us to analyze the different water and soil conservation techniques in the arid watershed of Ain Sefra in order to establish their current situation, to see their behavior and to judge their effectiveness.

In this context, a method is used which is part of a descriptive and explanatory approach. It is based on prospecting and observation in the field of the techniques and/or practices for the conservation of water and soil encountered on the three sites to be studied. It must be taken into account that cultivated agricultural areas are highly threatened by water erosion processes (bare soil, monoculture, particle detachment, and reduced water infiltration).

Field explorations were conducted through surveys of several farmers and peasants who themselves use conservation practices. A classification of techniques is based on the approach that distinguishes between practices developed by farmers (traditional) and those introduced by the public administration (new).

Several studies have been carried out in the national territory in arid and semi-arid zones and have studied the behavior of some water and soil conservation techniques: Hammoudi et al. (1994); Mazour et al. (2006) (north-west Algeria), Morsli et al. (2006) (Monts de Beni Chougrane), Hammoudi et al. (2006) (Eastern Algeria), Arabi (2006) (Haut-Chelif), Habi and Morsli (2011) (Tlemcen Wadi Tafna and Mascar Wadi El Hammam), Melaih (2012) (Ain Sefra arid region), Mazour et al. (2012) (Béni Snous, Honaine and Zouanif region), and Fecih et al. (2018) (Béni-Snous region).

This approach is quite simple from a methodological point of view. In particular, it is based on an evaluation of the behavior of water and soil conservation devices and their impact on the improvement of soil fertility and, consequently, on the improvement of the productivity of rehabilitated agricultural plots. Field observations were carried out directly on the sites with rigorous monitoring and control of all the parameters to be analyzed in terms of efficiency, stability, and adaptability of these techniques on each analyzed site in the face of the extreme rainfall events recorded in 2007–2008 (Fig. 10). These are rains that are very irregularly distributed in time and space and their impact on the watershed depends on several factors, namely, firstly, the state of soil moisture, the nature of the terrain, relief, vegetation, and land use, and secondly, the intrinsic characteristics of the rain such as its height and intensity.

According to Mazour et al. (2012), a number of factors are assessed directly and analyzed in the light of more than 15 years of observations, measurements, experimentation, and evaluation in order to understand the reasons for the sustainability and reproducibility of certain techniques that have required considerable adaptation efforts over the centuries (Tables 5, 6, and 7). We have established a classification of these techniques inspired by the approach of Al Karkouri et al. (2002), which distinguishes the practices developed by farmers from those implemented by state services. This study is based on the analyses of Mazour et al. (2008) on traditional soil and water conservation management practices in the mountains of north-west Algeria and on the work of Rodriguez-Juan et al. (2015), to whom they present a whole series of practices and techniques aimed at safeguarding water and soil resources in the Mestferki catchment area (Jerada massif, North-Eastern Morocco).

In these regions, some specific socio-economic aspects have been taken into account, notably the

organization of collective work (called *touiza*) in the maintenance of various rural amenities, as well as farming practices with the aim of restoring productivity and reversing the dynamics of regressive degradation towards a progressive dynamic of water and soil conservation and improvement of local agricultural production. All these actions were carried out within the framework of a sustainable development politic.

Study area

The basin of the Ain Sefra wadi covers an area of 1903.5 km². It is located in the southwestern part of the Algerian territory, in the Ksour Mountains. It is limited between 0° 26' 59" and 1° 3' 51" W longitude and between 32° 28' 13" and 33° 1' 45" N latitude, which takes care of the Tirkounte and Breidj wadi drainage waters, crossing the study area entire depression (Fig. 1).

The arid southern part of the study area has a Mediterranean-type climate, benefiting from a mean annual rainfall of 217 mm, while the mean annual temperature recorded at the meteorological station of Ain Sefra reaches 18.58 °C. This is also confirmed by the aridity of the present bioclimatic stage of the region.

Topography of the study area

In this sector of study, which is part of the high plateaus of the Algerian steppes, its relief extends from 1036 to 2141 m in altitude, with summits exceeding 2000 m as in the Jebel Aïssa (2236 m), Mir-Jebel (2145 m), and Jebel Mekther (2029 m).

Depending on the distribution of the LS factor, the slope values range from 0.03 to 63.29. High values are found in the mountainous areas of the upper valley, where the soil is uneven and threatened by erosion. On the other hand, lower values (LS < 5) are recorded in the central and northwestern areas of the Ain Sefra catchment area. LS values considered low (less than 0.5) are observed in the plain and occupy the largest area of the Wadi Ain Sefra catchment area (89%), which corresponds to the low altitude of the plain areas and the riverbed. This can be explained by the rather heterogeneous relief that characterizes our study area (Fig. 2).

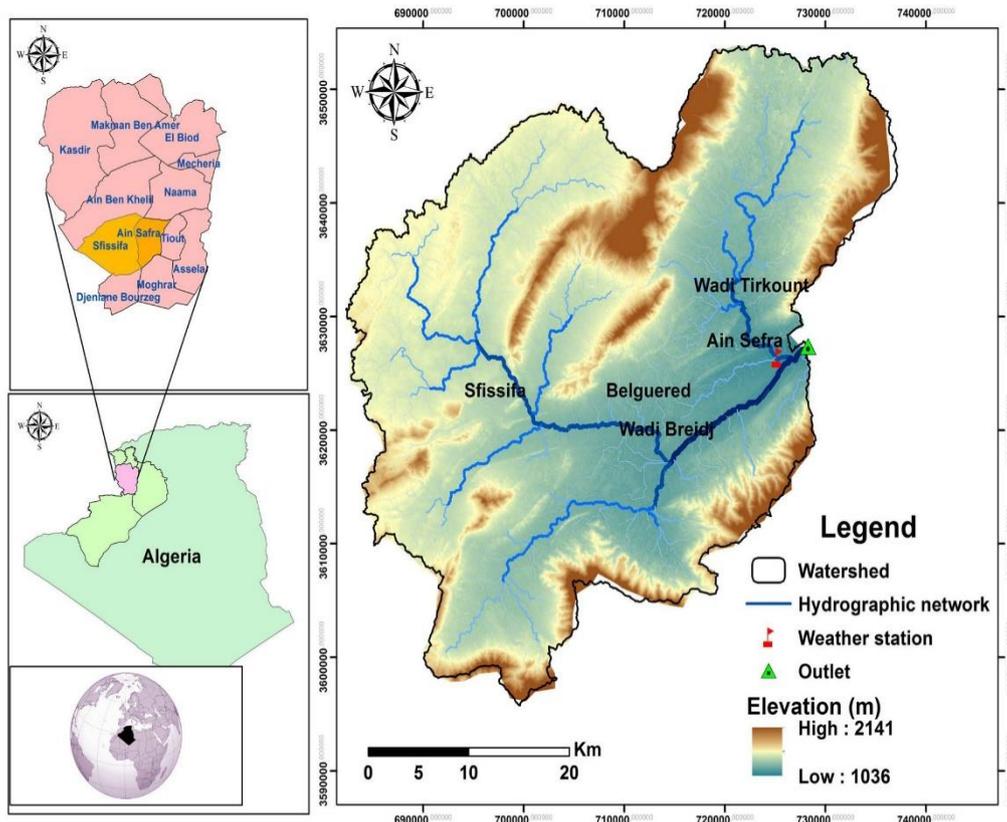


Fig. 1 Location of study area (Wadi Ain Sefra watershed)

Geological setting and land use of the study area

The Western Saharan Atlas is a folded chain oriented south-west-north-east. This chain is formed of ancient anticlines or synclines of simple structure, having undergone only the folding phase of the Eocene and then the uplift of the Upper Pliocene (Bensaid 2006). The facies that largely dominate the Ksour Mountains are the sandstone formations Jurassic and Cretaceous (Rahmani et al. 2017).

The calcimagnesian soil class occupies most of the study area; it is represented by several soil types: rendzinas, calcareous brown soils, and calcareous brown soils with gypsum crusts. These soils occupy the ancient and middle Quaternary glacia (Bensaid 2006).

The population growth in the commune of Ain Sefra (253,530 inhabitants in 2015) is responsible for additional needs in food and agricultural land, which has led to the deforestation of the land covered to exploit it, which has a population growth

rate of 4.18% between 2008 and 2014 (D.P.S.B. 2016).

The economic activity carried out in the entire watershed is closely linked to the agropastoral system, where a multitude of nomads and sedentary people live, most of them practicing agriculture and animal husbandry. In fact, the usable agricultural area is 2957 ha, 85.99% of which is irrigated. In contrast to this type of land, the area of pastures and rangelands represents almost all of the total surface area; it is 50,294 ha, or 94.42% (DPSB 2016). This clearly shows the main vocation of this commune, which is pastoralism. This should make it possible to restore and preserve the balance of the natural environment by improving the supply of fodder, to fight against desertification and water erosion, and to create jobs through well thought-out and effective development program setup to ensure the development of these arid regions.

In order to establish a land use map, our methodological approach, consists in identifying different land use classes

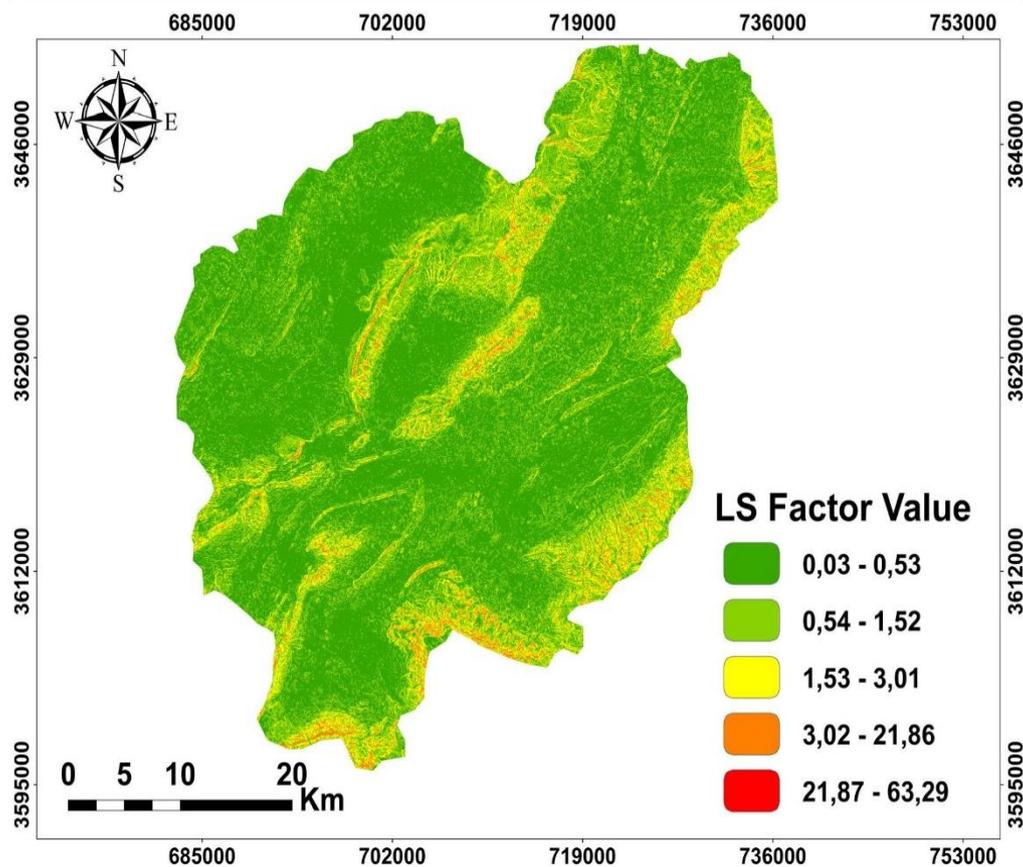


Fig. 2 Map of the slopes of the Ain Sefra catchment area

at the level of the wadi Ain Sefra watershed, was carried out using satellite image data acquired on 23 March 2019 from Landsat Oli 8 (Landsat Scene Identifier: LC08_L1TP_198037_20190323_20190403_01_T1). This image can be downloaded for free from <http://earthexplorer.usgs.gov>. The supervised classification was performed for the 2019 image using the maximum likelihood classifier. The map is shown in Fig. 3. accompanied by a cross-reference matrix (Table 1).

The state of land use in our basin in 2019 (Fig. 3) shows a dominance of the “degraded rangelands” class with variations in area in the other classes. The distribution of classes is as follows:

- Forests cover an area of 19,303.91 ha estimated at 10.14% of the total watershed area;
- Degraded rangelands dominate the distribution with 35,892.92 ha, i.e., 18.86% of the study area;
- The matorrals and rocky outcrops come in second place and extend over 18.24 ha, i.e. 18.24% of the total;
- Sandy buildings cover an area of 7522.68 ha and represent 3.95% of the study area;
- Crops cover an area of 13,345.57 ha or 7.01% of the total area of the basin;
- The grouping in Alfa (*Stipa tenacissima*) occupies an area of 11,939.50 ha, or 6.27% of the total area of our watershed;
- The group in Rétam (*Retama reatam*) covers an area of 21,458.31 ha, i.e., 11.27% of the total area of the basin.
- The grouping in Remth (*Hammada scoparium*) is still dominated by the plant formation of the study area and covers an area of 28,540.68 ha, that is 14.99% of the total area of our watershed;

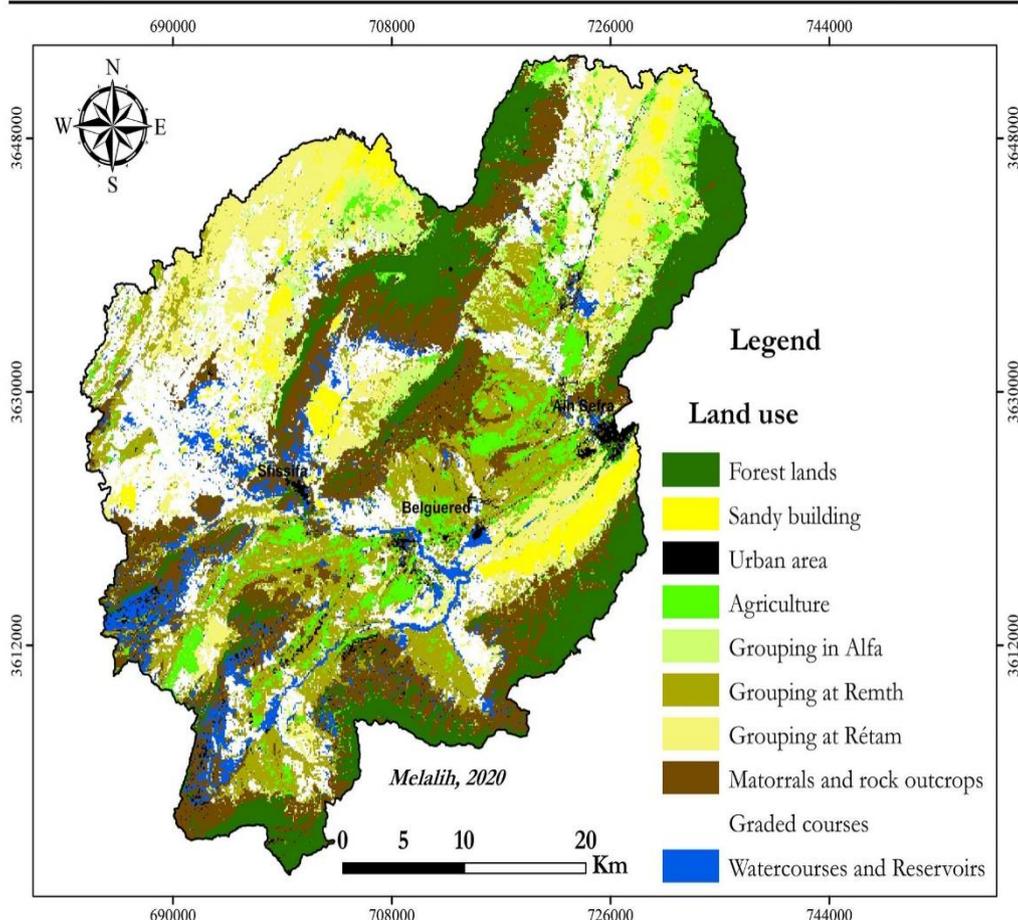


Fig. 3 Map of land use in Wadi Ain Sefra watershed

Table 1 Area distribution of land use classes in the Wadi Ain Sefra catchment basin

Classes	Area in ha	Area in %
Forest lands	19,303.91	10.14
Sandy building	7522.68	3.95
Urban area	5097.04	3.68
Agriculture	13,345.57	7.01
Grouping in Alfa	11,939.50	6.27
Grouping at Remth	28,540.68	14.99
Grouping at Rétam	21,458.31	11.27
Matorrals and rock outcrops	34,724.78	18.24
Graded courses	35,892.92	18.86
Watercourses and reservoirs	10,619.46	5.58
Total	190,350	1.00

- Streams and reservoirs occupy nearly 10,619.46 ha of land or about 5.58% of the study area;
- Habitats or settlements cover an area of 5097.04 ha or about 3.68% of the total area of the basin.

Vulnerability to erosion and soil loss in the Ain Sefra watershed

Geographic information systems were used to evaluate and map the phenomenon of water erosion using the revised universal soil loss equation (RUSLE) and deposition integrated in a GIS at the level of the arid watershed of the Wadi Ain Sefra. This approach is widely used by scientists in semi-arid and arid regions around the world, notably in Algeria (Mostephaoui et al. 2013; Toumi et al. 2013; Benkadja et al. 2015; Hasbaia et al. 2017; Benchettouh et al. 2017; Bouguerra et al. 2017;

Toubal et al. 2018; Djoukbal et al. 2018; Koussa and Bouziane 2019).

Estimates of the spatial distribution of soil losses at different points in the catchment area are presented in classes relating to the vulnerability of the study area to the phenomenon of erosion (Table 2).

These results show that approximately 23.87% of the study area has a very low potential risk of erosion (< 3 t/ha/year), while 41.65% of the study area has a low potential risk of erosion (between 3 and 7 t/ha/year), and 24.56% of this area is classified under a moderate potential risk (between 7 and 12 t/ha/year), 8.94% under a high potential risk (between 12 and 19 t/ha/year), and finally 0.98% is classified under a very high potential risk (more than 19 t/ha/year). The average rate of soil loss in the study area, which is estimated at 5.2 t/ha/year, will constitute a significant risk rate for an area with 54% bare soil (Fig. 4).

Results

In the field, it can be seen that the actions carried out in the Ain Sefra watershed for water and soil conservation are very numerous and diversified. These techniques are easily classified according to the traditional practices introduced by farmers at the plot level, as well as the new techniques implemented by the State at a broader level, on the scale of the watershed. The classification of the different techniques in each group has been established according to their extension.

Traditional peasant practices

In order to properly manage the land and dissipate the energy of runoff, traditional erosion management methods, including terraces, are used in the region and

have been shown to be effective against runoff and erosion (Fig. 5).

These are constructions that break up the slope and allow for increased infiltration and enhancement of sloping land. These are support techniques adapted according to topographical conditions and the availability of stones, either by earth embankments or by stone walls. This development is often found at the bottom of valleys, most cases colonizing the own terraces of the bed of the main wadis. These constructions also depend on the needs of the farmer and the level of productivity or expected yield (Rodriguez-Juan et al. 2015).

However, they have suffered severe damage in recent years as a result of intense rainfall and lack of maintenance. This situation is the same for most other traditional techniques such as dry-stone structures, *toub*¹ walls, various cordons and hydraulic works (*Madjen*², *Seguia*³, *Sed*⁴ etc.).

The use of stone techniques on cultivated land is not only limited to terraces, but the construction of dry-stone barriers by farmers is done following contour lines as well as *toub* walls (Fig. 6). They make it possible to reduce the speed of runoff, to better capture water in the soil and, above all, to trap fine soil particles that are mobilized upstream of the slopes by water erosion.

Other techniques consist in storing water in the *madjens*, which allows farmers to have water reserves to irrigate their plots. Depending on the economic means available to the farmer, this type of system is more or less developed, such as pipes or *seguias* built with earth or concrete to bring and distribute water from the *madjen* to the sites of the land for cultivation. The farmer also designs and installs cultivation beds with rectangular irrigation basins (*Guemoun*⁵) and ridges that serve to retain water upstream to facilitate crop infiltration (Fig. 7).

Table 2 Distribution of soil losses classes in Wadi Ain Sefra watershed

Erosion categories (t/ha/y)	Area (ha)	Area %
0–3	45,431.612	23.87
3–7	79,271.137	41.65
7–12	46,754.41	24.56
12–19	17,022.399	8.94
19–50	1869.439	0.98

¹ The *toub* is a mixture of clay, water, and crushed straw or other binder. It is used for the construction of walls when it is shaped into bricks dried from the sun.

² Water storage structures using natural or dug depressions. This water is used for domestic purposes such as washing, watering gardens and vegetable gardens, and watering livestock.

³ Diversion and collection pipes made of earth, arranged stone, or reinforced concrete.

⁴ Water catchment works upstream of a dike, generally made of earth and transversely to a temporary watercourse equipped with a sort of lateral spillway, with a capacity of a few thousand cubic meters; it is generally repaired or completely rebuilt after each high flood by the *toouza* (voluntary work).

⁵ Board cultivation

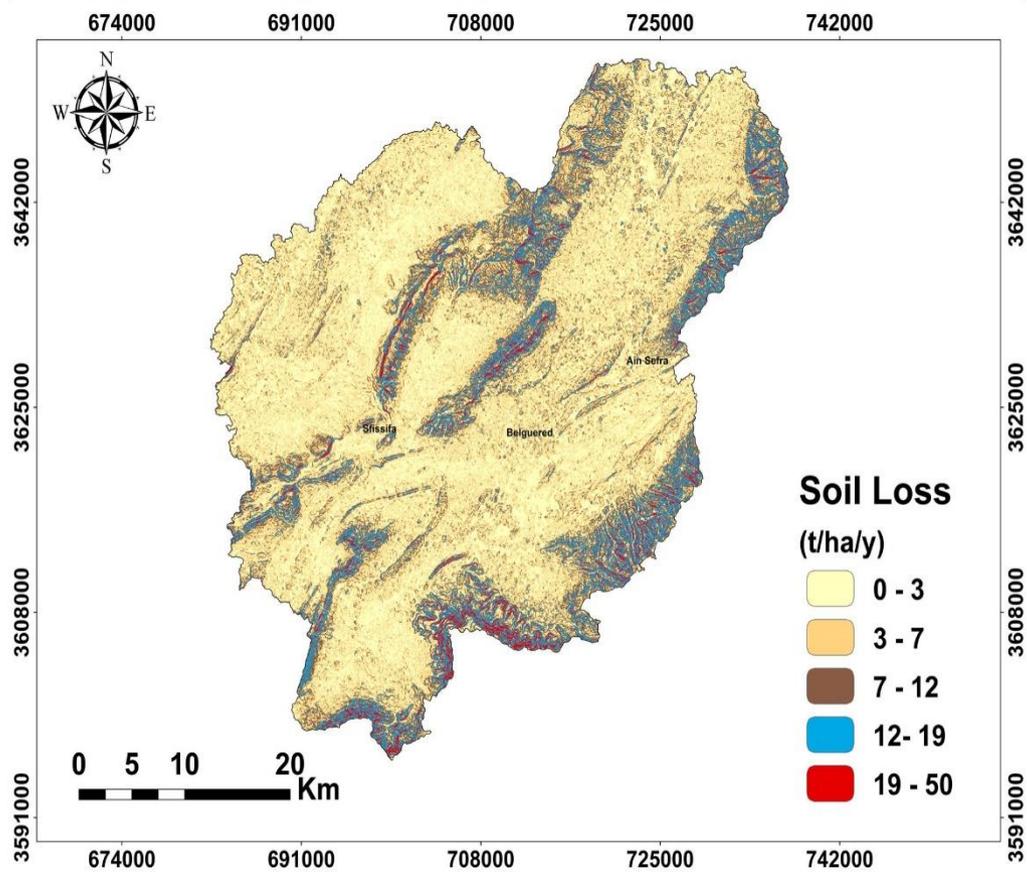


Fig. 4 Map of soil loss in the Ain Sefra watershed (t/ha/an)

In addition, farmers also use other cultivation practices that are less visible and not widespread, but are very important at the plot level. The most noteworthy are the cultivation on ridges, the installation of hedges and reed curtains, and the use of manure (Fig. 8).

New techniques introduced by the state

Faced with the serious phenomenon of erosion and flooding generated in the study area (the 1977 flood with a flow of 373 m³/s, the 1990 flood of 310 m³/s,



Fig. 5 Terraces with stone walls



Fig. 6 Dry-stone cords and *toub* walls in combination with market gardening and arboriculture

the year 2000 recorded more than 750 m³/s, and the 2007 flood of 222 m³/s), the State authorities have launched several projects aimed at reducing these constraints throughout the Ain Sefra catchment area, using techniques that are more costly than those used by farmers. At the level of the slopes, the techniques used are mainly those of the services of the Directorate General of Forestry and the High Commission for the Development of the Steppe (HCDS), the most important of which is shown in Fig. 9.

Mechanical anti-erosion systems

In order to carry out torrent correction and flood protection works in the Tirkount and Breidj wadis, bank stabilization, and gully bottom stabilization to prevent any widening of the river bed, the State is undertaking various types of mechanical works such as gabion and dry stone weirs, whose main objectives will generally be not only to reduce the solid flow, regulate flows, and store sediments, but also to raise the gully bottom and restore the balance of the slope. These measures will

also make it possible to install natural vegetation on sites threatened by erosion, build hill reservoirs, manage the banks with *seguias*, and develop trails (Table 3).

Mechanical control is essential to be effective in the long term, but it requires rapid biological fixation upstream at the level of aggravations, slopes, and gullies.

Biological erosion control

Deforestation is known as one of the most important elements in land use/cover changes. The change in the forest cover is of global concern since the forest is an indispensable natural resource that provides not only a wide variety of ecosystem goods and services but also plays a vital role in atmospheric carbon balance and, thus, climate change (Kumar et al. 2014) in (Kucsicsa and Dumitrică 2019).

During the 1970s, reforestation was carried out as part of the initiated study applications. For this purpose, reforestation has been done using multiple species, which has reduced the rate of monoculture of Aleppo pine from 100 to 65%. The success rate of reforestation



Fig. 7 The madjen of runoff storage and the setting up of the crop (Barley) on a plank (*Guemoun*)



Fig. 8 Cultivation practices; reed curtains, use of manure, and cultivation on ridges

is quite satisfactory; it is estimated at more than 50% (Sastre et al. 2016).

Today, the wilaya forest heritage spread over an area of more than 137,000 ha consists mainly of 92% of scrubland occupying the Ksour Mountains and isolated reliefs, and 8% of artificial stands in the form of bands, belts, afforestation, and dune fixation (Table 4):

- Afforestation by fodder trees and shrubs: among planted species: Carob (*Ceratonia siliqua*), honey locust (*Gleditsia tricanthos*), and Atlas pistachio (*Pistacia atlantica*).
- Biological fixation of sand dunes: this type of plantation made with Tamarix (*Tamarix afila* and *Tamarix gallica*) is intended for the dune sails fixation which threatens the agglomerations, the road infrastructures, and the farms, proved in several impacts its effectiveness of protection by its great resistance to the pedoclimatic conditions of the region.
- Windbreak planting: The species that have proved a good efficiency are Casuarina and Cypress.
- Alignment planting: The species used mainly are Tamarix, Robinia, Ash, and Eucalyptus.
- Defensions: It is an arrangement of the courses by resting during a precise period (of 3 to 5 years where applicable) in order to allow a vegetal cover regeneration, which favors thereafter an increase of the routes forage supply. It is an effective instrument for the steppe regeneration. Vegetation cover has proven to be one of the most efficient ways to minimize soil and water losses at different scales (Sastre et al. 2016) in Rodrigo-Comino et al. (2017). As an example, we can cite the Noufikha fencing (Sfissifa) (Table 4).

- Rational land development: Through the use of good agricultural practices (diversifying production, using good irrigation techniques, avoiding extensive cereal cultivation, and respecting the soil's capacity to support livestock loads) and the installation of a perennial crop (fruit plantations), soil fixation is achieved, provides economic income to farmers, and improves the ecosystem (presents more than 7% of the watershed's land use). These hardy fruit species include almond, olive, apple, pear, plum, apricot, fig, and pomegranate. Olive tree plantations have a relatively high success rate.

Discussion

Behavior of traditional water and soil conservation structures

The results of the analysis show that the techniques developed by the inhabitants make it possible to manage and gain arable land and also contribute to the reduction of erosion. Tables 5, 6, and 7 present the behavioral results of traditional water and soil conservation programs in terms of efficiency, stability, sustainability, reproducibility, productivity, and their behavior in the face of runoff water and erosion.

In the steppe areas of Algeria as in the Maghreb, the risks of wind and water erosion are high in these arid regions due to the violence of climatic events and the poor protection of the soil by vegetation. A recurrent drought that has marked the region over the last two decades confirms the precariousness and unsuitability of

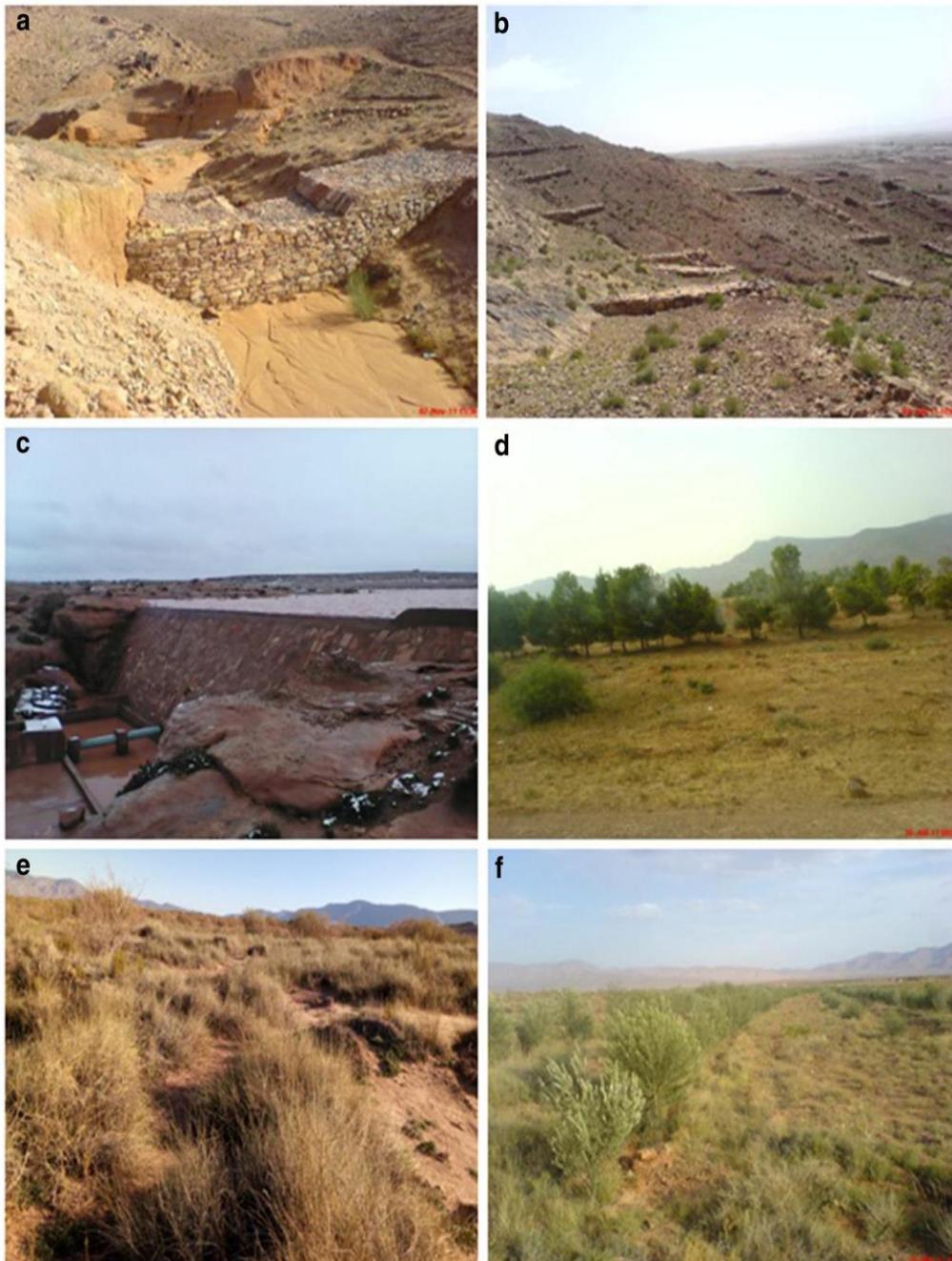


Fig. 9 The new anti-erosion techniques implemented in the Ain Sefra catchment area. **a** Gabion sills. **b** Dry stone sills. **c** Masonry dam. **d** Biological fixation of the dunes. **e** Defense. **f** Planting of fruit trees (olive trees)

some agricultural production systems while increasing water stress and declining production.

Rainfall recorded at the Ain Sefra station for more than 20 years has been between 2 and 250 mm

(especially in 2007 and 2008), very unevenly distributed over the year, and of short duration and high intensity (Fig. 10). These rains are often the cause of fairly heavy runoff but with little erosion. It is the intense showers of

Table 3 Summary of the mechanical installations carried out in the Ain Sefra catchment area

Types of developments	Unit	Volume achieved	Number of thresholds	Observation
Thresholds in gabion	m ³	94,600	3378	
Thresholds in dry stone	m ³	3900	186	
Hill retention	m ³	11,705,255	15	HCDS
Securing the banks “ <i>segua</i> ”	MI	4000		PPDRI Program
Development of tracks	km	120		

early autumn (October) that generate the most runoff, as the soil is destructured on the surface, beaten, and compacted almost impermeable due to the trampling of livestock. These events are fairly well-regulated and absorbed by the traditional and modern water and soil conservation measures implemented in the cultivated areas of these arid regions.

For a long time, farmers have developed simple and effective techniques to control runoff water, not only to store it but also to use it to irrigate terraces, gardens, and fruit trees and to water livestock. Square or rectangular infiltration basins are often made with soil, but sometimes stones are also used for low walls associated with ridge cultivation.

Analyses of traditional development have shown that terraces are widely used techniques on very steep slopes of varying sizes. The dimensions depend on the slope and depth of the soil and are generally at the height of the slope; with the exception of the Belguered area, this device is unusable since their land is on the plain. Their stability is linked to good water infiltration or drainage and is combined with a set of biological measures and cultural practices or with an association with structures (terrace with *toub* walls) (Fig. 11).

Mazour et al. (2008) note that the terraces and associated structures (low walls and small terraces) are designed to improve tillage while providing the managed plots with protection against runoff energy. On the two

sites, Sfissifa and Ain Sefra, the terraces have proved their effectiveness: runoff water is collected; runoff is attenuated by ropes and plowing. Water is channeled by Segua, infiltration is improved, and the slope is rectified. This efficiency is multiplied if the terraces are associated with cultural works such as the use of manure and ridge cultivation.

The use of dry-stone techniques on cultivated land is not limited to terraces. Farmers therefore build dry stone barriers along contour lines as *toub* walls, placed at regular intervals along plot boundaries, most often in combination with cultural measures or practices (intercropping, tree planting, etc.). They reduce runoff and its speed, improve water catchment in the soil, and trap fine soil particles that are mobilized on upstream slopes by water erosion. They also help to reconstitute the vegetation cover and recover highly degraded areas by reclaiming marginal land.

The gravity irrigation system is installed in the field in two forms: square and rectangular basins (widely used in the study area, particularly in the Sfissifa and Ain Sefra sites). This type of arrangement is used to irrigate by gravity in plots that are well-defined in width and length according to the surface and slope of the land. For the Belguered site, farmers mainly use modern irrigation systems (drip and sprinkler), which are well-adapted to large areas. These systems have proven to be effective for water conservation and management but

Table 4 Synthesis of biological management (reforestation) carried out during the period (1986–2014) (Directorate General of Forestry 2015)

Action	Volume	Program	Observation
Creating green stripes	280 ha	Sectoriel	Of which 50 ha maintained
Fruit plantation	380 ha	Sectoriel	156 Fellahs benefit
Windbreak	562 kml	Sectoriel	Casuarina and Cypress
Biological fixation of sand dunes	2860 ha	Sectoriel	Tamarix the most widespread species
Defensions	50,000 ha	HCDS	

Table 5 Results analysis of traditional techniques for the Sfissifa area

Analyzed factors							
Traditional anti-erosive facilities	Number	Efficiency	Stability	Reproductibility	Durability	Agricultural productivity	Cost
1. Structures	63						
Terraces	10	+	+	+	+	+	++
Stone walls	10	+	+	+	+	+	+
Toub walls	20	++	+	+	+	++	+
Seguias	20	++	++	++	++	++	++
Madjen	03	++	++	++	++	++	+
2. Cultivation techniques	40						
Using manure	20	++	++	++	++	++	++
Irrigation pond	20	++	++	++	++	+	-
Total	103						

Impact: ++ very positive impact, + moderately positive impact, - no impact, Cost of implementation: ++ expensive, + moderately expensive, - less expensive

require special maintenance in combination with other modern irrigation systems that are more expensive.

There are also some very common practices, such as live fencing, which plays an important role in the delimitation of plots and the protection of orchards from the wind. The design is based on drought-resistant species (Casuarina, Cypress...).

In addition, farmers are developing other less visible and not generalized farming practices that are very important at the plot level. The most notable are the use of ridge cultivation, spade work, quickset hedges, reed curtains, and the use of manure. This manure is available thanks to the predominance of the pastoral vocation of the region mentioned above. This manure contributes to the structural improvement of the soil, to

the increase of water infiltration, to the improvement of the biological activity of the soil in the long term, and consequently to the significant improvement of the yields. The effectiveness of cultivation techniques is strictly related to the economic conditions of the societies (Roose 1994).

Furthermore, ridging makes a very positive contribution to water and soil conservation and to improving the productivity of the developed plots, especially when the ridges in question are arranged perpendicular to the slope of the land. This is confirmed by Morsli et al. (2005), who demonstrated a 10- and 15-fold reduction in erosion and runoff, respectively, on a traditional system of ridge cultivation on slopes in the Honaine region, compared to soil without ridges. It is noted that

Table 6 Results analysis of traditional techniques for the Belguered area

Analyzed factors							
Traditional anti-erosive facilities	Number	Efficiency	Stability	Reproductibility	Durability	Agricultural productivity	Cost
1. Structures	10						
Seguias	10	++	++	++	++	++	++
2. Cultivation techniques	78						
Related crops	20	++	+	+	+	++	+
Ridge cultivation	20	++	+	++	+	++	+
Crop rotation	03	++	++	++	+	+	-
Fences in hedges	20	++	++	++	+	++	+
Using manure	15	++	++	++	++	++	+
Total	88						

Impact: ++ very positive impact, + moderately positive impact, - no impact. Cost of implementation: ++ expensive, + moderately expensive, - less expensive

Table 7 Results analysis of traditional techniques for the Aïn Sefra area

Analyzed factors							
Traditional anti-erosive facilities	Number	Efficiency	Stability	Reproductibility	Durability	Agricultural productivity	Cost
1. Structures							
Terraces	41						
Terraces	20	++	++	++	++	++	++
Madjen	01	++	++	++	++	++	+
Seguias	20	++	+	++	++	++	+
2. Cultivation techniques							
Ridge cultivation	60						
Ridge cultivation	10	++	++	++	+	++	-
Related crops	10	++	+	+	+	++	+
Using manure	20	++	++	++	++	++	+
Irrigation pond	20	++	++	++	++	+	-
Total	101						

Impact: ++ very positive impact, + moderately positive impact, - no impact. Cost of implementation: ++ expensive, + moderately expensive, - less expensive

the combination of several crops on the same ridge ensures the stability of the ridge and provides permanent soil cover while reducing erosion.

Seds, Madjens, and Seguias are techniques for storing, mobilizing, and managing runoff water. They play a significant role like other techniques in water management. The Seguias, this main canal made of beaten earth or concrete, has the role of draining water from the

source and from the wadis towards the irrigated land plots. Sed and Madjen waters are used for watering livestock and for domestic use by the local population. Their effectiveness depends on the maintenance of this type of development, which is ensured by a volunteer workcamp (Touiza). The blue color of the land use map indicates very clearly the amount of water stored by these structures.

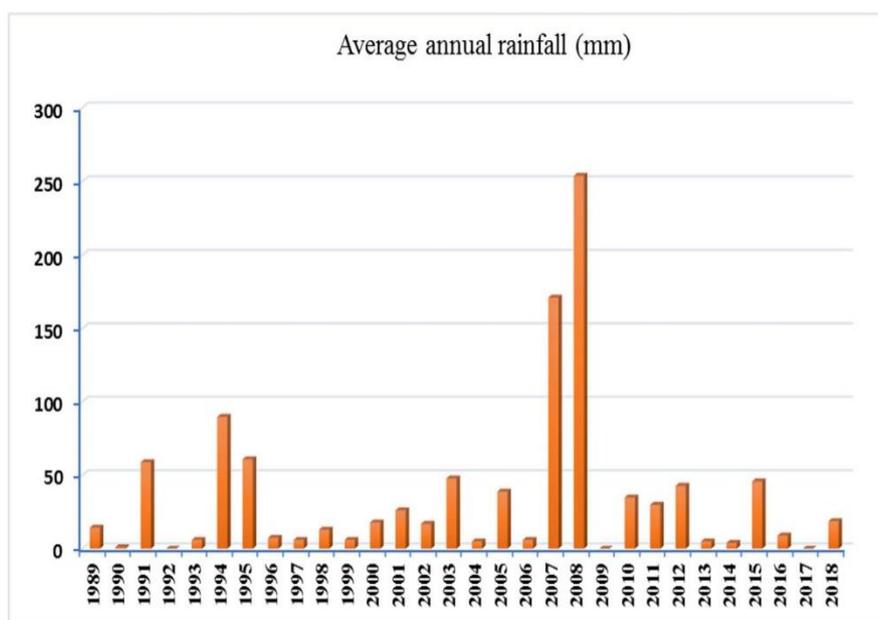


Fig. 10 The distribution of mean annual rainfall (period 1989–2018) at the Ain Sefra station (Source ANRH 2019)

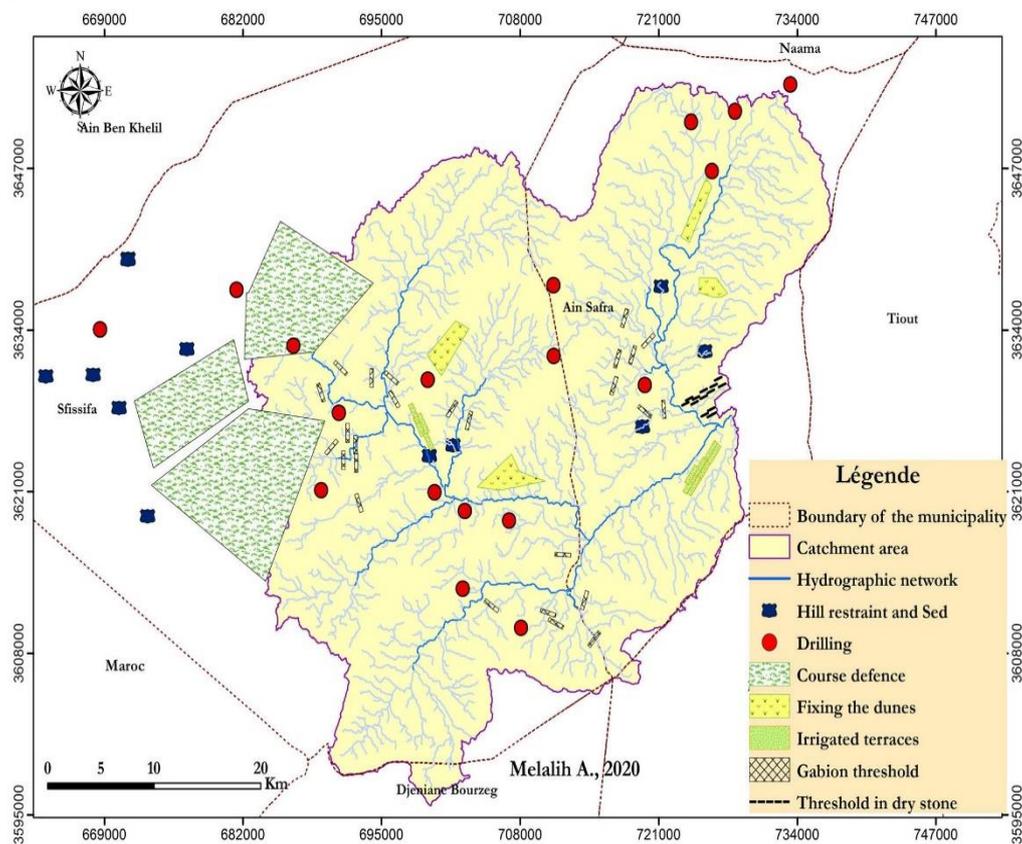


Fig. 11 Distribution of tradionals and modems developments in the watershed of Wadi Ain Sefra

New water and soil conservation techniques

Several techniques have been implemented to reduce gullyng and erosion in general through various programs aimed at combating this scourge such as the sector program, the proximity project for integrated rural development (PPDRI), the labor-intensive public utility work program (Tup-Himo), and the national plan for the reforestation of the banks of the wadis, mechanical techniques such as torrential corrections, construction of water and soil conservation works, and biological techniques such as rustic plantations, creation of green strips, alignment plantations, and development of trails and the weather control program.

In our watershed, 98,500 m³ of torrential corrections were carried out during the 2000 to 2014 period. These volumes are divided into two types of work namely: thresholds in gabion and thresholds in dry stones. Table 1 shows us that the gabion thresholds are the most used in volume compared to the dry-stone thresholds. Forty mechanical installations (gabion and dry-stone

thresholds) were analyzed. The volume of achievement of each type of threshold gives us a first interpretation on the importance of interventions.

An analysis of the mechanical installations studied, carried out over the last decade and aimed at protecting the watershed and combating silting of hydraulic infrastructures and irrigated perimeters located downstream of floods, showed that 30% of the dry-stone weirs do not function because they are located on little or non-active gullies (located on the Ain Sefra site). On the other hand, the gabion weirs all work well and the choice of their installation sites has been well-studied (located almost everywhere) (Fig. 11).

With regard to the hill retention, it was found that 80% of the total number of hills studied are in satisfactory condition, while 70% are used less intensively. Considering that they are over 11 years old, this represents even more than half of their life expectancy (20 years) for a hill retention (Fig. 11). The problem of erosion and the transport of solids is already a major concern in these regions because these structures are

subject to heavy investment, while siltation contributes more to reducing their lifespan. In this context, it should be stressed that the role of water and soil conservation works is an aspect that justifies their cost.

Locally, the contribution of these structures in flood control seems important; their effectiveness is recognized at the scale of the catchment area, as irrefutable, especially for the gabion weirs examined, which represent an efficiency rate of 55%, whereas dry stone weirs do not exceed 20%. The same is true for the stability and adaptability of these thresholds.

However, these structures require a recurrent maintenance, to ensure their effectiveness during the high floods. For the hydraulic management, they are the most effective means for watershed protection and flood control.

The biological development which proved its efficiency in the regeneration of the pasture courses is fencing, but this technique remains subject to the following constraints:

- The lack of respect of fencing by the breeders, this is justified by the grazing of the herd within certain perimeters and also the illicit plowing practice;
- The guarding system weakness compared to the extent of the defended areas which are very large.

As researchers and in order to transfer land degradation control procedures, the following recommendations should be followed:

- To develop an economic program aimed at the rational mobilization of natural resources in order to improve the living conditions of rural populations through actions supported by the State;
- To set up a support system for livestock feeding in order to preserve the vegetation cover of pastures within the fences.
- Rational mobilization of water resources and development of pastoral hydraulics (surface storage infrastructures: Sed, hill retention, pond, Jboub⁶);
- Implementation of a specific extension program for the rural world to combat soil degradation.

⁶ Surface water and runoff that includes the network of wadis, as well as at the level of certain gullies, are stored in the Jboub that were built by the population to take advantage of these waters (watering), their activity taking place only in times of flood.

Conclusions

A multitude of traditional WSC facilities are present throughout the Ksour Mountains region and particularly in the Wadi Ain Sefra watershed. They have only begun to be studied, inventoried, and evaluated since 2010 (Melalih 2012). The traditional techniques generally used by farmers (terraces, stone cordons, toub walls, use of manure, cultivation in tanks and on ridges) have been found to play a major role in water and soil conservation at the level of cultivated plots.

In a normal or deficit year, these types of measures generally have a positive impact on the WSC and on improving the productivity of developed land. Simple, low-cost, farmer-friendly techniques have proven to be the most effective. Nevertheless, these developments remain very scattered and sometimes localized. Some have been abandoned; others on the contrary are widely used because of the profit they bring. The combination of traditional WSC techniques (mechanical, biological, cultivation techniques) with additional fertilization has proven to have a very positive impact on production and reduction of the risk of degradation.

We analyzed the behavior of these developments in the face of the intense rainfall of 2007–2008, when the cumulative rainfall reached 250 mm and the intensity was about 60 mm/h. It is clear that all the installations are damaged and the water control structures are completely destroyed. It is clear that traditional facilities are very vulnerable to the rare rains. But they are devices that are easily identifiable within the framework of a social organization of collective work (touiza) that guarantees the durability of these devices in the rural environment studied.

The new developments carried out in this watershed (1903.5 km²), are mainly mechanical structures representing a volume of 172,500 m³ distributed over two types of structures (gabions and dry-stone sills) as well as biological developments over an area of 47,763 ha divided between reforestation and fruit plantations, and 50,000 ha of defenses.

A comparison of the different types of torrential correction structures used clearly shows that gabion weirs are even more efficient and better adapted to environmental conditions. While mechanical control is essential and effective temporarily, it also requires biological fixation, which must take place very quickly on bearings, slopes, and along gully edges.

Modern techniques developed by the State (torrential correction, hillside retention, reforestation) have been found to be very useful for water and soil conservation on a large scale, i.e., at the watershed level. A combination of these two types of development is almost indispensable to ensure a very positive impact on land productivity and the reduction of the risk of degradation.

In order to do this, it is necessary for the responsible government services to make farmers aware of the importance of applying this type of essential technique, providing them with all the necessary elements that allow the sustainable preservation of the environment and the maintenance of a balance between agricultural potential and natural water and soil resources.

References

- A.N.R.H. (2019). (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques). Séries de Données climatiques 2019.
- Al Karkouri, J., Watfeh, A., & Aderghal, M. (2002). Techniques de CES dans une zone semi-aride du Rif Central (Bni Bouffrah, Maroc). *Bulletin du Réseau Érosion*, 21, 56–82.
- Benchettouh, A., Kouri, L., & Jebari, S. (2017). Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE/GIS techniques and practices conservation suggested for reducing soil erosion in Wadi Mina watershed (northwest, Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*, 10. <https://doi.org/10.1007/s12517-017-2875-6>.
- Benkadja, R., Boussag, F., & Benkadja, A. (2015). Identification et évaluation du risque d'érosion sur le bassin versant du K'sob (Est Algérien). *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 74, 91–102. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0611-y>.
- Bensaïd, A., (2006). SIG et télédétection pour l'étude de l'ensablement dans une zone aride: le cas de la wilaya de Naâma (Algérie). Ph.D. thesis, Université Joseph Fourier, Grenoble I; 318.
- Bouguerra, H., Bouanani, A., Khanchoul, K., Derdous, O., & Tachi, S. E. (2017). Mapping erosion prone areas in the Bouhamdane watershed (Algeria) using the revised universal soil loss equation through GIS. *Journal of Water and Land Development*, 32, 13–23. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0002>.
- D.P.S.B. (2016). Direction de la programmation et du Suivi Budgétaires de La Wilaya De Naâma. Monographie de la Wilaya de Naâma [Monograph of the Wilaya of Naâma]. 164p
- Directorate General of Forestry. (2015). Conservation des forêts de la wilaya de Naâma. Rapport des projets de conservation de l'eau et des sols.
- Djoukbal, O., Mazour, M., Hasbaia, M., & Benselama, O. (2018). Estimating of water erosion in semiarid regions using RUSLE equation under GIS environment. *Environmental Earth Sciences*, 77(9). <https://doi.org/10.1007/s12665-018-7532-1>.
- El Abbassi, H., (2000). Le savoir-faire des populations locales et gestion des eaux et des sols dans une moyenne montagne méditerranéenne semi-aride: Rif oriental (Maroc)[The know-how of local populations and management of water and soil in a semi-arid Mediterranean mid-mountain: Eastern Rif (Morocco)]. *Bulletin du réseau Érosion*. Marseille, France. IRD, 20, 399–428.
- FAO & ITPS. (2015). Status of the world's soil resources (SWRS) – technical summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Rome, Italy. ISBN 978–92–5–109004–6
- Fecih, A., Habi, M., & Morsli, B. (2018). Evaluation of hydro-agricultural techniques and assessment of know-how implemented by traditional societies: case of the region of Béné-Snous in the city of Tlemcen – Algeria. *Journal of Water and Land Development*, 39, 39–50. <https://doi.org/10.2478/jwld-2018-0057>.
- Habi, M., & Morsli, B. (2011). Contraintes et perspectives des retenues collinaires dans le Nord ouest algérien. *Sécheresse*, 22, 49–56.
- Hammoudi, A., Monjengue, & Roose, É. (1994). Enquête sur l'efficacité des aménagements de DRS en Algérie. *Bulletin - Réseau Erosion*, 9, 14–18.
- Hammoudi, A., Morsli, B., Roose, É., (2006). Evaluation des méthodes classiques de défense et restauration des sols en Algérie. In: Comptes rendus 14e conférence de l'ISCO l'International Soil Conservation Organisation. Marrakech, pp 14–19
- Hasbaia, M., Dougha, M., & Benjedou, F. (2017). Erosion sensitivity mapping using a mult icriteria approach under GIS environment the case of the semiarid Hodna Basin in Central Algeria. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 6(1), 13–19.
- Koussa, M., & Bouziane, M. T. (2019). Estimation des paramètres de l'érosion hydrique par Approche SIG/USLE: cas du bassin versant de l'Oued Arab (région de Khenchela, Nord-Est de l'Algérie). *Agriculture and Forestry Journal*, 3(1), 36–45. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3239252>.
- Kucsicsa, G., & Dumitrică, C. (2019). Spatial modelling of deforestation in Romanian Carpathian Mountains using GIS and logistic regression. *Journal of Mountain Science*. Springer. Berlin., 16(5), 1005–1022. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-5053-8>.
- Kumar, R., Nandy, S., Agarwal, R., et al. (2014). Forest cover dynamics analysis and prediction modeling using logistic regression model. *Ecological Indicators* 45, 444–455. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.003>.
- Laouina, A. (2010). Conservation des eaux et des sols au Maroc: prise en compte de la diversité géographique. *Norois. Environnement, Aménagement, Société*, 214, 85–99.
- Mazour, M., (1991). Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser Tlemcen Algérie, communication n 8, Grenoble, pp. 300–313.
- Mazour, M., Morsli, B., Roose, É., (2006). Analyse de quelques techniques traditionnelles de conservation de l'eau et du sol dans le nord-ouest algérien. In: Comptes rendus 14e conférence de l'ISCO «l'International Soil Conservation Organisation». pp 14–19
- Mazour, M., Morsli, B., Touil, A., Kasmî, M., Roose, É., (2008). Aménagement et techniques traditionnelles de conservation

- de l'eau et du sol dans le Nord Ouest algérien. ISCO proceedings. tucson.ars.ag.gov.4P
- Mazour, M., Benmansour, M., Boughalem, M., (2012). Comportement de certaines techniques traditionnelles suites aux événements pluviométriques exceptionnels de 2008–2009 dans le NW de l'Algérie. IRD Éditions. 16p
- Melalih, A., (2012). Analyse des techniques de conservation de l'eau et du sol en zone aride cas du bassin versant d'AIN SEFRA. Thèse Magi. Sicen. Agrono. Univ Abou Bekr Belakaid. Tlemcen. 144p + Annexes.
- Morsli, B., Mazour, M., Medejel, N., Arabi, M., & Roose, É., (2005). Influences of land uses, soils and cultural practices on carbon eroded and carbon stocks in soils of Mediterranean mountains of northern Algeria. Dans: Soil Erosion & Carbon Dynamics, ADV. SOIL SCI. (éditeur). CRC Publisher, Boca Raton, FL, USA, Chap. 8, pp. 103–124.
- Morsli, B., Mazour, M., Arabi, M., Medejel, N., & Roose E. (2006). Effet des systèmes de culture sur le ruissellement et les pertes en terre, en Carbone et nutriment dans les Monts de Beni-Chougrane NO Algérie. In E. Roose, R. Lal, C. Feller, B. Barthes, B. Stewart (Eds.), "Soil erosion dynamics" (pp. 103–124). Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis.
- Mostephaoui, T., Merdas, S., Sakaa, B., Hanafi, M. T., & Benazzouz, M. T., (2013). Cartographie des risques d'érosion hydrique par l'application de l'équation universelle de pertes en sol à l'aide d'un système d'information géographique dans le bassin versant d'el Hamel (Boussaâda), Algérie. Journal Algérien des Régions Arides. N° Spécial, 131–147.
- Pham, T. G., Degener, J., & Kappas, M. (2018). Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*, 6(2), 99–110. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.01.001>.
- Rahmani, A., Bouanani, A., Kacemi, A., & Baba-Hamed, K. (2017). Contribution of GIS for the survey and the management of water resources in the basin "Belhandjir-Tirkount" (Ain Sefra) mounts of Ksour. Saharian Atlas-Algeria. *J Fundam Appl Sci*, 9(2), 829–846. <https://doi.org/10.4314/jfas.v9i2.14>.
- Rodrigo-Comino, J., Wirtz, S., Brevik, E. C., Ruiz-Sinoga, J. D., & Ries, J. B. (2017). Assessment of agri-spillways as a soil erosion protection measure in Mediterranean sloping vineyards. *Journal of Mountain Science*, 14(6). <https://doi.org/10.1007/s11629-016-4269-8>.
- Rodriguez-Juan, J., Sbai, A., El Harradji, A. (2015). Techniques de conservation des eaux et des sols au niveau du bassin versant de Mestferki (Chaîne de Jerada, Nord-Est du Maroc)[Soil and water conservation in Mestferki watershed (Jerada chain, North-East of Morocco)]. Scientific Association for Water Information Systems Journal of SAWIS, ISSN: 2351–9096 Volume – 2015 - N° 01. (1), 33–39.
- Roose, É. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). *Bulletin Pédologique de la FAO*, 70, 438.
- Roose, É., & Sabir, M. (2002). Stratégies traditionnelles de conservation de l'eau et des sols dans le bassin méditerranéen: classification en vue d'un usage renouvelé. *Bulletin Réseau Erosion*, 21, 33–44 (fdi:010031028).
- Sastre, B., Barbero-Sierra, C., Bienes, R., et al. (2016). Soil loss in an olive grove in Central Spain under cover crops and tillage treatments, and farmer perceptions. *Journal of Soils Sediments*, 1–16. <https://doi.org/10.1007/s11368-016-1589-9>.
- Toubal, A. K., Achite, M., Ouillon, S., & Dehni, A. (2018). Soil erodibility mapping using the RUSLE model to prioritize erosion control in the Wadi Sahouat basin, north-west of Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190, 210. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6580-z>.
- Toumi, S., Meddi, M., Mahe, G., & Brou, Y. T. (2013). Cartographie de l'érosion dans le bassin versant de l'Oued Mina en Algérie par télédétection et SIG. *Hydrological Sciences Journal*, 58, 1542–1558. <https://doi.org/10.1080/02626667.2013.824088>.

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



24 Using **RUSLE** and **GIS** for the soil loss assessment in arid regions: The case of the **Ain Sefra** catchment in the **Ksour Mountains**, **Algeria**

Ahmed Melalih, Mohamed Mazour

Journal of Water and Land Development | 2021 | No 48 | 205-214

Keywords: **Ain Sefra** watershed **Algeria** arid region **GIS** **RUSLE** soil erosion

[Abstract](#) [Download PDF](#) [Download RIS](#) [Download Bibtext](#) [Bibliography](#)
[Authors and Affiliations](#)



Received 12.03.2020
Reviewed 07.05.2020
Accepted 10.06.2020

Using RUSLE and GIS for the soil loss assessment in arid regions: The case of the Ain Sefra catchment in the Ksour Mountains, Algeria

Ahmed MELALIH^{1), 3)} ✉, Mohamed MAZOUR^{2), 3)}

¹⁾ Abou Bakr Belkaïd University, Faculty of Natural and Life Sciences and the Universe, BP 230, New campus, Tlemcen, 13000 Algeria

²⁾ University Center of Ain Temouchent Belhadj Bouchaib, Institute of Science and Technology, Ain Temouchent, Algeria

³⁾ University Center of Ain Temouchent Belhadj Bouchaib, Laboratory of Applied Hydrology and Environment (LHYDENV), Ain Temouchent, Algeria

For citation: Melalih A., Mazour M. 2021. Using RUSLE and GIS for the soil loss assessment in arid regions: The case of the Ain Sefra catchment in the Ksour Mountains, Algeria. *Journal of Water and Land Development*. No. 48 (I–III) p. 205–214. DOI: 10.24425/jwld.2021.136163.

Abstract

The loss of soil quality due to erosion is a global problem, particularly affecting natural resources and agricultural production in Algeria. In this study, the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) is applied to estimate the risk of water erosion in the Ain Sefra arid watershed (Algeria). The coupling of this equation with Geographic Information Systems (GIS) allows to assess and map the soil loss rates. The land erosion is influenced by many control variables, such as the topographic factor of the terrain and the length of slope (LS factor), rainfall erosivity (R factor), sensitivity of soil to erosion (K factor), presence of vegetation (C factor) and the anti-erosion cultivation techniques (P factor). To calculate the average annual soil loss, these five factors were considered and multiplied in the RUSLE Equation. The result shows that the average rate of soil loss is estimated at about $5.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ over the whole watershed. This study is the first of its kind in the region and aims to assess the soil loss caused by water erosion processes in this arid zone. Consequently, it is essential to take real intervention measures in these upstream areas in order to combat this scourge, based on priorities ensuring the sustainable management of natural resources in the study area.

Key words: *Ain Sefra watershed, Algeria, arid region, GIS, RUSLE, soil erosion*

INTRODUCTION

Soil erosion is the detachment, transport and deposition of soil particles by usually combined action of rain and runoff. This process of soil degradation by runoff water, especially in areas without permanent vegetation, is probably the most important scourge, for it is irreversible and generally on a large scale [HONORATO *et al.* 2001]. The world is currently facing a real environmental problem that threatens the biodiversity and productivity of the majority of natural and agricultural ecosystems, which also threatens the lives of most small-scale farmers [GESSESSE *et al.* 2015].

Soil degradation, which often has a more dramatic character, is the result of many factors, including climatic, lithological, natural, topographical, vegetative cover and

environmental ones. We confirm that the climatic factor is the most important and it has become increasingly aggressive leading rapidly to soil degradation if the soil is insufficiently protected by dense vegetation. This process occurs when rainfall erosion coincides with inappropriate anthropogenic practices, such as slope tillage, land clearing, deforestation, expansion of urban areas and road construction for the benefit of agricultural land, as well as overgrazing and lack of control, which aggravate the problem [WOLDEMARIAM *et al.* 2018].

Worldwide, average soil erosion rates are estimated to be between 12 and $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ [PHAM *et al.* 2018]. In drylands, they are aggravated due to severe quantitative and qualitative degradation caused by water erosion. The latter is a natural phenomenon that evolves with the anthropic evolution and the severity of the climate [DJOUKBALA *et*

al. 2018]. Each year, the land area loses about 0.90 to 0.95 mm of soil [FAO 2015].

In the case of Algeria, the land affected by erosion is estimated at about 20 mln ha. It includes in particular mountainous areas with 90% of dams and the population of about 20 mln people [MAZOUR, ROOSE 2002].

Many tools have been developed by researchers to quantify soil loss, including the Universal Soil Loss Equation (USLE) [WISCHMEIER, SMITH 1978], Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [RENARD *et al.* 1997], Water Erosion Prediction Project (WEPP) [NEARING *et al.* 1989], Soil and Water Assessment Tool (SWAT) [ARNOLD *et al.* 1998], etc. Recent studies have shown that the combination of the RUSLE, Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) have provided reliable support and tools for natural resource monitoring and disaster risk reduction.

The research requires a great deal of spatial data which the GIS is likely to process in a simple and efficient manner. For this reason, many researchers use the GIS as the main approach to estimate soil erosion at all spatial scales [BELASRI *et al.* 2016]. The aim of this study is to provide a spatial analysis of soil erosion using the RUSLE and GIS in the arid catchment area of the Wadi Ain Sefra in the Ksour Mountains, Algeria. The analysis is widely used by scientists in semi-arid and arid regions around the world, particularly in Algeria [BENKADJA *et al.* 2015; BENCHIETOUH *et al.* 2017; DJOUKBALA *et al.* 2018; HASBAIA *et al.* 2017; KOUSSA, BOUZIANE. 2019; TOUBAL *et al.* 2018].

The results have shown a high annual degradation rate and led to the deployment of soil-based tools to ascertain the exact amount of the annual soil loss or degradation, and

guide the precise identification of highly degraded areas that require to be prioritized in terms of interventions in the study area.

MATERIALS AND METHODS

STUDY AREA

The basin of the Ain Sefra wadi has an area of 1903.49 km². It is located in the south-west of Algeria, in the Ksour Mountains, between 0°26'59" and 1°3'51" W longitude and between 32°28'13" and 33°1'45" N latitude (Fig. 1).

The climate in the study area is of the Mediterranean type, with the arid southern part benefiting from an average annual rainfall of 217 mm, while the average annual temperature recorded at the meteorological station of Ain Sefra is 18.58°C. This watershed, marked by diversified topographical conditions, belongs to the high plateau of north-west Algeria. The relief extends from 1036 to 2141 m a.s.l. (Tab. 1).

The Ksour Massif, part of the Saharan Atlas, is a fairly high mountainous region with peaks exceeding 2000 m in altitude, such as the Jebel Aïssa (2236 m), the Mir-Jebel (2145 m) and the Jebel Mekter (2029 m).

Population growth in the commune of Ain Sefra (253,530 inhabitants in 2015) is responsible for additional needs for food and agricultural land, which has led to the deforestation. The population growth rate was 4.18% between 2008 and 2014 [DPSB 2016].

Agriculture and pastoralism are indeed the two activities that have always been the economic vocation of this commune. The useful agricultural area is 2,957 ha, 85.99%

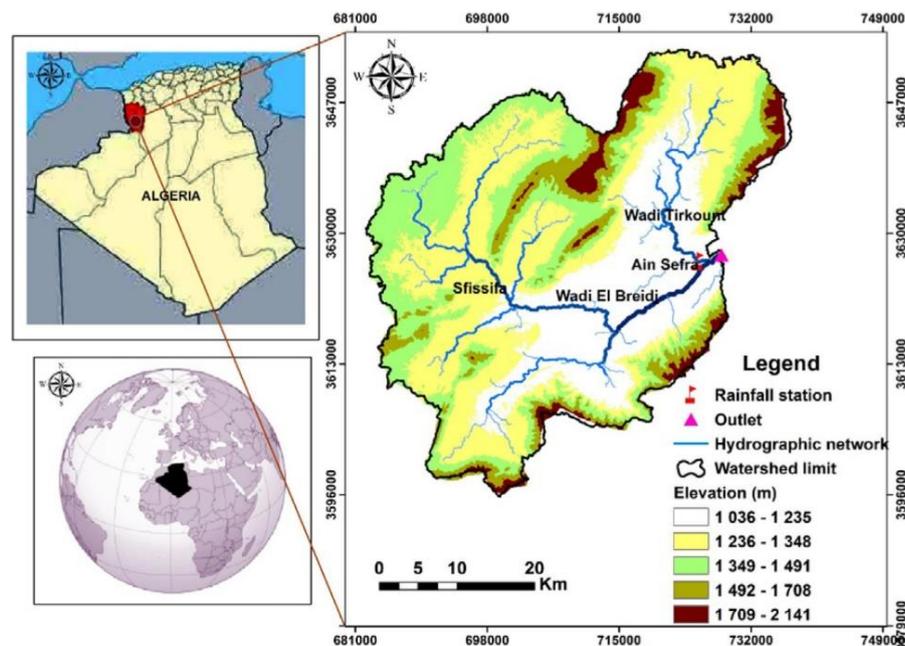


Fig. 1. Location of the study area; source: own elaboration

Table 1. Morphometric data for the Wadi Ain Sefra catchment

Parameter	Unit	Value
Area	km ²	1 903.49
Perimeter	km	275.81
Compactness index	–	1.63
Minimum altitude	m	1036
Maximum altitude	m	2141
Length of the rectangle	km	106.89
Width of the rectangle	km	17.80
Length of the main river	km	89.8
Drainage density	km·km ⁻²	3.2

Source: own elaboration.

of which is irrigated. In contrast to this type of land, the area of grazing land and rangelands accounts for almost all of the total area; it is 50 294 ha or 94.42% [DPSB 2016]. These figures clearly show that pastoralism is the main vocation in the commune. It should enable to restore and preserve the balance of the natural environment, improvement of the fodder supply, fight against desertification and water erosion, as well as the creation of jobs through serious and effective development programs that will guarantee sustainable development in these arid regions.

Due to its position at the heart of a fragile ecosystem, the soil has a sandy, silty and sandy-clay texture and has a very low organic matter content, the region of Ain Sefra is characterized by a steppe environment strongly subjected to three scourges: degradation and regression of the plant cover due to the disappearance of *Lygeum spartum* L. and gray-leaved sagebrush (*Artemisia herba-alba* Asso) and a clear regression of Alfa (*Stipa tenacissima* L.)

(19 680 ha in 1976 and only 10 732 ha in 2014) which testify to an alarming degradation of the plant cover and the need for emergency interventions [DPSB 2016]. Together with the risk of silting, overloading of rangelands and the anthropic action characterized by clearing and illegal ploughing and abusive exploitation of the plant cover threaten both urban areas and road infrastructure, as well as farms and pose the risks of flooding and water erosion. This often affects the whole of the study area.

RUSLE MODEL

For this study, soil losses were estimated based on the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) developed by RENARD *et al.* [1997], which is a revised version of the USLE model [WISCHMEIER, SMITH 1978], the most popular model in the world in this field which is based on the following equation (Eq. 1):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Where: *A* = the estimated annual soil loss (t·ha⁻¹·y⁻¹), *R* = the rainfall erosivity factor (MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·y⁻¹), *K* = the soil erodibility factor (t·ha⁻¹·h⁻¹·MJ⁻¹·ha⁻¹·mm⁻¹), *L* = the length of the slope and *S* is the degree of slope (dimensionless), *C* = the vegetation cover control factor (dimensionless) and *P* = related to the supporting practices and amenities (dimensionless).

The information on these five main factors controlling the soil erosion was obtained from different primary and secondary data sources (Fig. 2). The description of the data used is presented in Table 2.

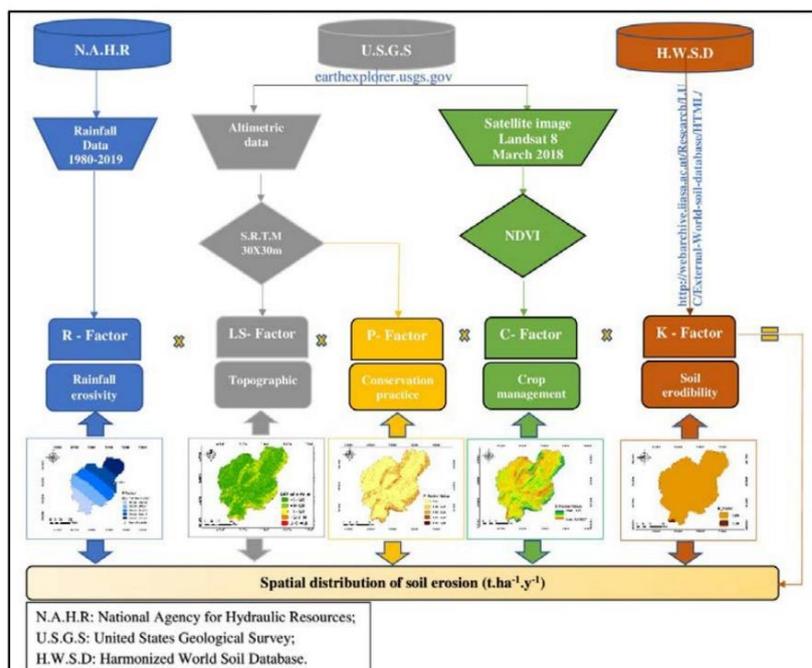


Fig. 2. The flow-chart of the methodology used, based on RUSLE equation and GIS; source: own elaboration

Table 2. Information on the data used in this study

Data type	Data format	Description	Data source
Annual and monthly rainfall	Excel	annual rainfall (1980–2019)	National Agency for Hydraulic Resources (NAHR)
The topographical data (Shuttle Radar Topography Mission SRTM)	Raster	resolution: 30 m	The United States Geological Survey (http://earthexplorer.usgs.gov/)
Landsat 8 satellite image	Raster	capture date: 9 March 2018 resolution: 30 m	The United States Geological Survey (http://earthexplorer.usgs.gov/)
Soil characteristics	Excel and Raster	Harmonized world soil database (HWSD)	Harmonized world soil database version 1.2 (http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/)

Source: own elaboration.

Rainfall erosivity factor (*R*)

The process of soil erosion is highly conditioned by the kinetic energy of water drops under the pressure of splashes and runoff (splash effect). According to WISCHMEIER and SMITH [1978], the *R*-factor can be explained by the interaction between the kinetic energy of precipitation and the soil surface.

With the RUSLE model, and according to RENARD *et al.* [1997], the estimation of precipitation erosivity parameters was based on multiplying the total energy of the storm by the intensity of 30 minutes precipitation. In this study, meteorological data used to estimate the rainfall erosivity factor (*R*) were obtained from the National Agency for Hydraulic Resources (Fr. Agence Nationale de Ressources Hydriques – ANHR). Monthly and annual precipitation data were collected from 07 weather stations (Ain Sefra, Naama, Mechria, Bechar, El Bayadh, El Kheiter and Saida) and the National Agency for Hydraulic Resources (ANHR) over a period of 25 to 30 years (Tab. 3). *R* values for the entire watershed were calculated and interpolated using the Ordinary Kriging interpolation within the GIS.

For the present study, due to the lack of available data on precipitation intensity, it is not possible to use the formula given by RENARD *et al.* [1997]. In fact, this situation occurs in most of the Algerian watersheds. Indeed, the most reliable rainfall data are those recorded on a daily, monthly and annual scale; for this reason, an alternative based on monthly and annual rainfall (Eq. 2) was preferred. Numerous researchers have applied and proposed the said formula, such as: KALMAN [1967], RANGO and ARNOLDUS [1977], DJOUKBALA *et al.* [2018] and BENSELAMA *et al.* [2018].

$$\log R = 1.74 \log \sum_{i=1}^{12} \frac{P_i^2}{P} + 1.29 \quad (2)$$

Where: *R* = rainfall erosivity factor (MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·y⁻¹), *P* = annual rainfall (mm), *P_i* = monthly rainfall (mm).

Soil erodibility (*K*)

The soil erodibility factor (*K*) depends on soil texture, soil structure, soil permeability and organic matter (OM) richness. It generally depends on the nature of soil, slope inclination and the density of the plant cover [THIAW, HONORE 2017]. For the present study, the *K*-factor is obtained from the Harmonized World Soil Database (HWSD) version 1.2 [FAO/IASA/ISRIC/ISSCAS/JRC 2012]. This database consists of a raster GIS document that is associated with a database in the Microsoft Access format (Fig. 2). According to FAO/IASA/ISRIC/ISSCAS/JRC [2012] data, more than 16,000 different soil mapping units are recognized in the HWSD, which consists of 21600 rows and 43,200 columns, or 221 mln grid cells to cover the entire world, which are associated with harmonized attribute sets.

The use of a standardized grid offers the possibility to link the attribute data to the raster layer in order to display or examine the composition in soil units and to determine selected soil parameters, such as those given by BENSELAMA *et al.* [2018]: organic carbon, pH, water storage capacity, soil depth, exchange capacity of soil legends and clay fraction, total exchangeable nutrients, lime and gypsum content, percent of sodium exchange, salinity, texture class and particle size. In our case, the soil erodibility value was calculated according to Equations (3)–(7) recommended by NEITSCH *et al.* [2011].

$$K_{USLE} = K_w = f_{csand} \cdot f_{cl-si} \cdot f_{Corg} \cdot f_{hisand} \quad (3)$$

Where: *f_{csand}* = a factor that decreases the *K* value for soils with a high proportion of coarse sand and increases the *K* value in cases where the soil contains little sand; *f_{cl-si}* = a low erodibility factor in soils with a high clay-silica

Table 3. Information on rainfall stations located in the study area (period: 1980–2019)

Station	Longitude (E)	Latitude (N)	Altitude (m a.s.l.)	Period	Average annual rainfall (mm)
Ain Sefra	3862472.92	-66366.45	10 580	1981–2019	215.34
Naama	3930900.78	-33804.28	11 660	1995–2019	241.50
Mechria	3965693.96	-31621.04	11 490	1980–2019	275.34
El Kheiter	4048563.64	7643.70	10 000	1981–2019	260.80
El Bayadh	3983133.54	111598.06	13 410	1980–2019	336.19
Saida	4145791.54	16816.15	7 700	1981–2019	430.21
Bechar	3713157.96	-249184.71	7 730	1980–2019	150.17

Source: ANRH [2020].

Table 4. Determination of *K*-factor values within the Wadi Ain Sefra catchment

Sample	Percentage content in top soil			C_{org} (%)	f_{csand}	f_{cl-si}	f_{Corg}	f_{hisand}	K_{RUSLE}	K
	m_s	m_{silt}	m_c							
YK – sand	63.5	17.9	18.7	0.26	0.200	0.147	1.000	0.986	0.029	0.029
YK – sand	63.5	17.9	18.7	0.26	0.200	0.147	1.000	0.986	0.029	0.029
Y – loam	49.2	26.0	24.8	0.33	0.200	0.154	0.999	0.999	0.031	0.340
YK – sand	63.5	17.9	18.7	0.26	0.200	0.147	1.000	0.986	0.029	0.029
Y – loam	49.2	26.0	24.8	0.33	0.200	0.154	0.999	0.999	0.031	0.340

Explanations: m_s – the percentage of sand particles content (0.05–2.00 mm diameter), m_{silt} – the percentage of silt content (0.002–0.05 mm diameter), m_c – the percentage of clay content (<0.002 mm diameter); C_{org} – the percentage of the organic carbon content of the stratum. Source: own study.

ratio; f_{Corg} reduces the *K* values when the organic matter content is high; f_{hisand} reduces the *K* values when the sand content is high.

$$f_{csand} = 0.2 + 0.3 \exp \left[-0.256m_s \left(1 - \frac{m_{silt}}{100} \right) \right] \quad (4)$$

$$f_{cl-si} = \frac{m_{silt}}{m_c + m_{silt}} \quad (5)$$

$$f_{Corg} = 1 - \frac{0.25C_{org}}{C_{org} + \exp[3.72 - 2.95C_{org}]} \quad (6)$$

$$f_{hisand} = 1 - \frac{0.7 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)}{\left(1 - \frac{m_s}{100} \right) + \exp[-5.51 + 22.9 \left(1 - \frac{m_s}{100} \right)]} \quad (7)$$

Where: m_s = the percentage of sand particles content (0.05–2.00 mm diameter), m_{silt} = the percentage of silt content (0.002–0.05 mm diameter), m_c = the percentage of clay content (<0.002 mm diameter); C_{org} – the percentage of the organic carbon content of the stratum.

The samples YK and Y represent sandy and clayey soil textures respectively of the topsoil collected in the Harmonized World Soil Database (HWSD) on the FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC [2012] (Tab. 4).

LS factor

The topographic component (*LS*) consists of two elements, namely the length of the slope (*L*) and its degree of inclination (*S*), which have a great impact on water flows and thus on water induced erosion, in general. When the length and slope of the watershed slope are longer and steeper, the flow rate and speed of runoff will increase. In this work, the digital elevation model (DEM) of the area was used, extracted from the ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model) which was downloaded from the USGS (United States Geological Survey) platform accessible in 2018 (resolution 30 m) – Figure 2. This required multiple pre-processing from the Spatial Analyst interface of the GIS software. Firstly, the accumulation of flows (flow-acc) was identified, which allowed us to deduce the length of the slope (*L*). In the second step, we estimated the slope, by using the Slope tool from Spatial Analyst Tools, which is used to determine the exponent (*m*) and then the factor (*S*) respectively. The last step is the combination of factors *L* and *S*.

To calculate the topographic factor (*LS*), we have relied on the formula defined by WISCHMEIER and SMITH [1978], which has been applied by several researchers such

as: RODRIGUEZ and SUÁREZ [2010], DJOUKBALA *et al.* [2018]; BENSELAMA *et al.* [2018], KOUSSA and BOUZIANE [2019] (Eq. 8).

$$LS = (FA \frac{A}{22.1})^m (0.065 + 0.045S + 0.0065S^2) \quad (8)$$

Where: *FA* = flow accumulation; *A* = the size of the DEM data (30 m by 30 m); *S* = the angle of the slope (%); *m* = a parameter related to different classes of slopes.

In our study, *m* = 3 which corresponds to the slope of (1–3%) WISCHMEIER and SMITH [1978].

C factor

STONE and HILBORN [2000] defined the *C*-factor, the vegetation factor, and compared losses on land under a specific cropping and management system with the corresponding losses in a field constantly left fallow. BENCHETTOUH *et al.* [2017] considered the land cover factor (*C*) to be the second major factor determining soil erosion after topography. We consider the land cover factor to be the most important one, since together with other conditions it is the easiest to control and combat erosion. Therefore, parameter *C* is a factor closely related to landscape conservation.

In general, *C*-factor values close to 0 are assigned to areas of a high vegetation cover while those close to 1 correspond to bare land [SEM WAL *et al.* 2017]. In the current study, data related to the normalized difference vegetation index (*NDVI*) (acquisition date: 9 March 2018, acquired from Landsat 8 satellite imagery with a spatial resolution of 30 m) were used to assess the *C*-factor and thus interpret the impact of different vegetation layers on the soil loss in the study area (Fig. 2). The *NDVI* was determined from a combination of red and infrared GIS bands. The following formula, applied by DJOUKBALA *et al.* [2018] and BENSELAMA *et al.* [2018] was used to calculate parameter *C* from:

$$C = 0.9167 - 1.1667 NDVI \quad (9)$$

Agricultural practices and soil conservation factor (*P*)

The *P*-factor reflects the cultivation practices used (land management methods, in particular direction of ploughing and orientation of crop on sloping land), as well as soil conservation measures (reforestation and slope fixation). This runoff management system reduces the speed of runoff and promotes soil infiltration by modifying soil properties to reduce the effects of soil erosion.

This *P*-factor varies according to the protection techniques implemented at the watershed level. It ranges from 0 in the most protected areas to 1 in those areas where there are no conservation practices. In this study, the *P*-factor was estimated based on the slope system of the watershed, and we used the value of the supporting practice factor based on the cultivation methods and slope [SHIN 1999].

Table 5. Values of the *P*-factor by crop and slope types

Parameter	<i>P</i> -value at slope (%)				
	0–7.0	7.0–11.3	11.3–17.6	17.6–26.8	>26.8
Contouring	0.55	0.60	0.80	0.90	1.00
Strip cropping	0.27	0.30	0.40	0.45	0.50
Terracing	0.10	0.12	0.16	0.18	0.20

Source: SHIN [1999], modified.

RESULTS AND DISCUSSION

MODEL PARAMETERS

The rainfall erosivity factor (*R*). The spatial distribution of the rainfall regime in the Wadi Ain Sefra catchment ranges from 197.50 to 227.58 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·y⁻¹ and varies according to the rainfall characteristics (Fig. 3). This distribution highlights high erosivity in the northeast part of the basin, whereas the lowest values are found in the southwest of the study area. Indeed, the catchment area of the Wadi Ain Sefra is marked by a strong aggressive climate impact ranging from south to north.

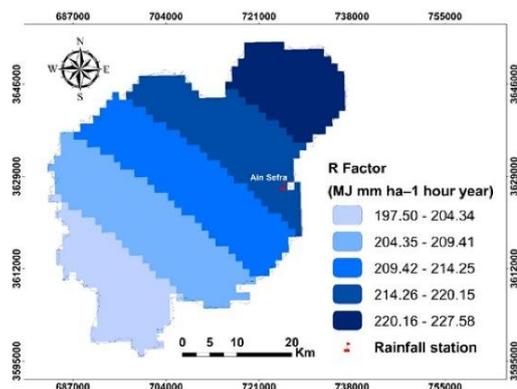


Fig. 3. *R* factor map of the study area; source: own study

The distribution of the *R* factor over the catchment area can be divided into several classes, of which 41% are marked by a high erosivity, with *R* values ranging from 214.26 to 227.58 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·y⁻¹. On the other hand, low erosivity is observed with *R* values between 197.50 and 209.41 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·y⁻¹, affecting 38% of the surface area of the basin. The moderate erosivity class with *R* factor of 209.42 to 214.25 MJ·mm·ha⁻¹·h⁻¹·y⁻¹ can be found in the rest of the catchment area, i.e. about 21% of the surface area.

The soil erodibility factor (*K*). *K* factor values extracted from the HWSD global database for the Wadi Ain Sefra catchment range from 0.03 to 0.34 t·ha⁻¹·h⁻¹·MJ⁻¹·mm⁻¹; they are low over the entire catchment area and are attributed to the coarse soils that favour water infiltration rather than runoff (Fig. 4).

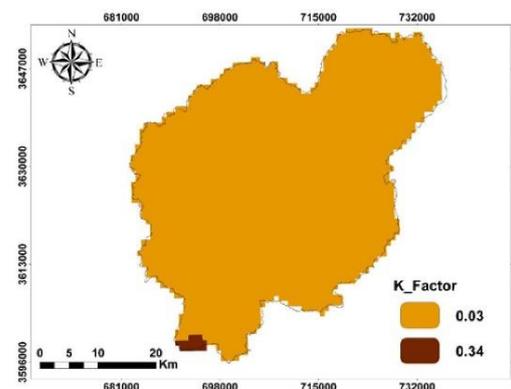


Fig. 4. The soil erodibility factor (*K*-factor) map of the Wadi Ain Sefra catchment; source: own study

LS factor

According to the distribution of the *LS*-factor, its values range from 0.03 to 63.29 (Fig. 5). High values are found in the mountainous areas of the upper valley, where the soil is uneven and threatened by erosion. On the other hand, lower values (*LS* < 5) are recorded in the central and north-western part of the Ain Sefra catchment. *LS* values considered to be low (less than 0.5) are observed in the plain which occupies the largest area of the Wadi Ain Sefra watershed (89%). They correspond to a low altitude of the plain and the stream channel. This is explained by a rather heterogeneous relief that characterizes the study area.

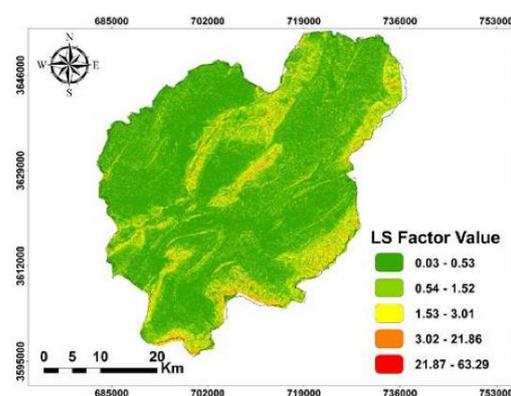


Fig. 5. The *LS* factor map of the Wadi Ain Sefra catchment; source: own study

Vegetation cover factor (C)

The values of the normalized difference vegetation indices (*NDVI*) are in the range of -1 to $+1$. Negative values are found in areas without vegetation cover but with snow, water or clouds, where the reflectance of red is higher than that of near infrared SOUDI *et al.* [2014]. Since the reflectance is of the same order of magnitude for red and near infrared, the *NDVI* value is practically zero for bare ground. Vegetation formations have a positive *NDVI* value, generally between 0.1 and 0.7. The highest values are attributed to the densest vegetation cover. As shown in Figure 6, *NDVI* values vary between -0.22 and $+0.47$. Low values can be found in the summits of the *Djebels* while high values correspond to lands with variable vegetation. Agricultural activity is concentrated at the edges of the wadis in the center and south-east of the watershed.

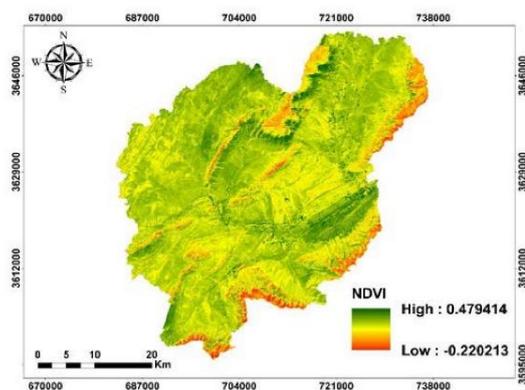


Fig. 6. Normalized difference vegetation index (*NDVI*) values spatially distributed in the Wadi Ain Sefra catchment area; source: own study

The *C*-factor map (Fig. 7) shows the reaction of different land use patterns to the erosion process. It is observed that the value of the *C*-factor over the whole study area in question is highly variable, ranging from 0.15 to 1. Most of the study area (96%) has a very low vegetation cover and only 4% of it is sufficiently well protected, with a $C < 0.6$. There is a low vegetation cover in pastures overgrazed by overstocking, sparse forests threatened by land clearing and cereal fields which are highly sensitive to all forms of erosion (water and wind).

Conservation support practice factor (P)

As shown in Figure 8, the value of factor *P* of the revised universal soil loss equation for the *Ain Sefra* watershed varies from 0.55 to 1.00 depending on the land use and gradients of the land slope. In our situation, the highest values (0.60–1.00) are justified by the absence or inadequacy of support means and practices in 90% of the overall watershed perimeter. On the remaining 10%, low *P* values (< 0.60) are distributed in the central and north-western part of the catchment area, in association with a slight relief.

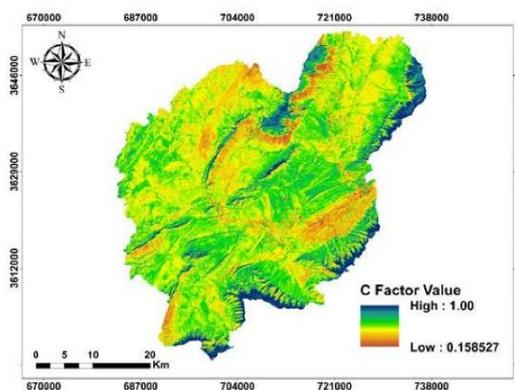


Fig. 7. Vegetation cover factor (*C*-factor) mapping in the Wadi Ain Sefra catchment; source: own study

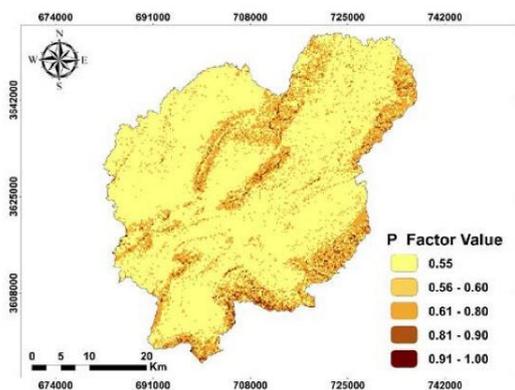


Fig. 8. The conservation support practice factor (*P*-factor) map of the Wadi Ain Sefra watershed; source: own study

POTENTIAL EROSION RISK MAP

The application of the *RUSLE* soil erosion model coupled with the *GIS* allowed us to estimate the spatial distribution of soil loss over the *Wadi Ain Sefra* watershed. Figure 9 presents classes related to soil loss in the study area.

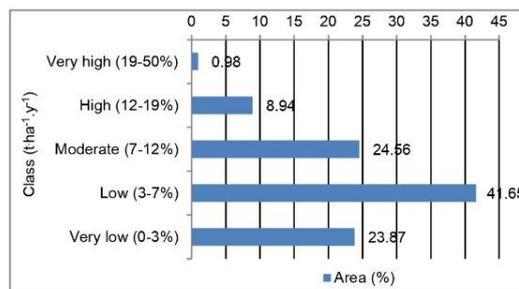


Fig. 9. Soil loss ($t \cdot ha^{-1} \cdot y^{-1}$) rates by classes for the *Wadi Ain Sefra* catchment; source: own study

The results show that about 23.87% of the study area has a very low potential erosion risk ($<3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$), while 41.65% of the study area has a low potential erosion risk (between 3 and $7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$), 24.56% of this area is classified under a potentially moderate risk (between 7 and $12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$), 8.94% under a potentially high risk (between 12 and $19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$), and finally 0.98% is classified under a potentially very high risk (higher than $19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$). The average soil loss in the study area, estimated at $5.2 \text{ (t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1})$, is concentrated in sectors where the risk of erosion is low.

According to the erosion risk map (Fig. 10), this threat does not manifest itself in a homogeneous form in the Ain Sefra catchment. It is judged as low to moderate on the 171,457.15 ha, which represent 90.08% of the total catchment area. The area is located in a relief with low LS and with moderate to high vegetation cover (C). For the rest of the catchment area (9.02%), the situation is more worrying and erosion risks are classified from high to very high (Fig. 9). This applies especially to the central and south-eastern part of the Ain Sefra catchment, where high values for rainfall erosivity ($R > 209$) and soil erosion ($K > 0.03$), with very hilly relief ($LS > 3$) are associated with a moderate vegetation cover ($C > 0.30$) and negative impacts of uncontrolled agricultural practices ($P > 0.60$).

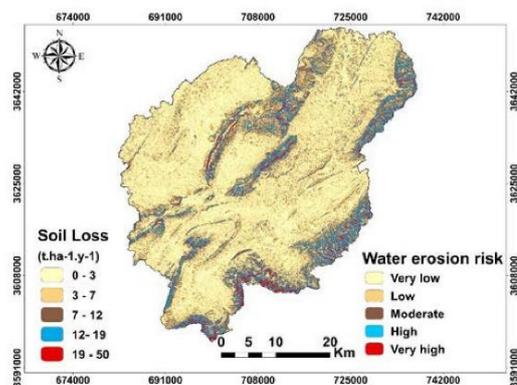


Fig. 10. Soil loss map ($\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$) and erosion risk classes in the Wadi Ain Sefra catchment; source: own study

These results differ from those found in many Algerian catchment areas, such as the Wadi Mina ($11.2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$) [BENCHETTOUH *et al.* 2017], as well as in the Wadi Sahouat catchment, whose potential soil losses are estimated between 12 and $16 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ [TOUBAL *et al.* 2018], or in the Wadi El Malch with $9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ [BENSELAMA *et al.* 2018].

They are also compatible with the results from other studies on water induced erosion problems carried out in mountainous areas with similar climatic and environmental characteristics. In Khanecchela, the K'sob catchment has an average annual loss of $4.6 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ [BENKADIA *et al.* 2015]; they also indicate that the regions of Mas'ad and Hassi bahbeh are subject to high erosion leading to annual losses

between 1.5 and $23 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ [KOUSSA, BOUZIANE 2018], whereas in the Wadi El-Ham the loss is $5.7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$ [DJOUKBALA *et al.* 2018].

The results show that the soils of the Ain Sefra region are subject to various factors that promote the erosion mechanism, notably the degradation of the vegetation cover through overgrazing and the extension of random cereal crops to the perennial plant profile. These results also make it possible to improve the land management through anti-erosion schemes designed to combat the effects of water erosion. This calls for adequate decision-making to preserve the environment in a sustainable manner and to ensure a balance between agricultural potential and natural water and soil resources.

CONCLUSIONS

This study shows the application of the empirical model to estimate the spatial distribution of soil erosion in the Wadi Ain Sefra catchment. The coupling of the RUSLE model with GIS helps to determine different types of erosion and sectors most affected and to quantify specific soil degradation.

It is also noted that soil losses are strongly related to the degree of rainfall erosivity as well as on the density of the vegetation cover in interaction with several factors. These include mainly the predominance of steeply erodible soils combined with intensive agriculture and grazing, which leads to the disappearance of plant stands in favour of anarchic cereal crops. The situation is aggravated by insufficient or absent means for combating erosion in the region.

According to the results obtained, approximately 23.87% of the study area has a very low potential erosion risk ($<3 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$), 41.65% has a low potential erosion risk (between 3 and $7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$), and 24.56% of this area fall in the moderate potential risk category (between 7 and $12 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$). The potential erosion risk is high (between 12 and $19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$) in 8.94% of the study area, and in only 0.98% of the Wadi Ain Sefra catchment the potential erosion risk is very high (more than $19 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{y}^{-1}$).

The results provide important support to decision-makers and development managers help to simulate land degradation evolution scenarios in the Wadi Ain Sefra catchment. Above all, the results should be used for planning and programming of anti-erosion actions in the entire Ksour Mountains region. It should be pointed out that there is a shortage of studies that would allow us to estimate soil losses due to water erosion in these arid regions.

The RUSLE model has proven its effectiveness as a practical and modular tool in this field. The model enables to analyse the evolution of the general soil erosion and to provide basic data to prevent soil losses in the region. At the same time, it provides decision-makers with useful information for setting up future soil and water conservation programs in the region in particular in the Wadi Ain Sefra catchment.

REFERENCES

- ANRH 2020. Bulletins de Séries de données climatiques 1980–2020 [Climate Data Series Bulletins 1980–2020]. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques Algérie pp. 30.
- ARNOLD J.G., SRINIVASAN R., MUTTLAH R.S., WILLIAMS J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association*. Vol. 34(1) p. 73–89. DOI 10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x.
- BELASRI A., LAKHOULI A. 2016. Estimation of Soil Erosion Risk Using the Universal Soil Loss Equation (USLE) and Geo-Information Technology in Oued El Makhazine Watershed, Morocco. *Journal of Geographic Information System*. Vol. 8 p. 98–107. DOI 10.4236/jgis.2016.81010.
- BENCHETTTOUH A., KOURI L., JEBARI S. 2017. Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE/GIS techniques and practices conservation suggested for reducing soil erosion in Wadi Mina watershed (northwest, Algeria). *Arabian Journal of Geosciences*. Vol. 10(4). DOI 10.1007/s12517-017-2875-6.
- BENKADIA R., BOUSSAG F., BENKADIA A. 2015. Identification et évaluation du risque d'érosion sur le bassin versant du K'sob (Est Algérie) [Identification and evaluation of erosion risk in the K'sob watershed (Eastern Algeria)]. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Vol. 74 p. 91–102. DOI 10.1007/s10064-014-0611-y.
- BENSELAMA O., MAZOUR M., HASBAIA M., DJOUKBALA O., MOKHTARI S. 2018. Prediction of water erosion sensitive areas in Mediterranean watershed, a case study of Wadi El Malch in north-west of Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 190(12), 735. DOI 10.1007/s10661-018-7117-1.
- DJOUKBALA O., MAZOUR M., HASBAIA M., BENSELAMA O. 2018. Estimating of water erosion in semiarid regions using RUSLE equation under GIS environment. *Environmental Earth Sciences*. Vol. 77, 345. DOI 10.1007/s12665-018-7532-1.
- DPSB 2016. Monographie de la Wilaya de Naâma [Monograph of the Wilaya of Naâma]. Direction de la programmation et du Suivi Budgétaires de La Wilaya De Naâma pp. 164.
- FAO 2015. Status of the world's soil resources (SWSR) – Main report. Soil change: Impacts and responses. Chapt. 7. The impact of soil change on ecosystem services. Rome. Food and Agriculture Organization of the United Nations. ISBN 978-92-5-109004-6 pp. 222.
- FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC 2012. Harmonized world soil database version 1.2 [online]. Rome Food and Agriculture Organization of the United Nations, Laxenburg, International Institute for Applied Systems Analysis. [Access 12.02.2019]. Available at: http://webarchive.iiasa.ac.at/Research/LUC/External-World-soil-database/HTML/HWSD_Data.html?sb=4
- GESSESE B., BEWKET W., BRÄUNING A. 2015. Model-based characterization and monitoring of runoff and soil erosion in response to land use/land cover changes in the Modjo watershed, Ethiopia. *Land Degradation and Development*. Vol. 26 p. 711–724. DOI 10.1002/ldr.2276.
- HASBAIA M., DOUGHA M., BENJEDOU F. 2017. Erosion sensitivity mapping using a multi-criteria approach under GIS environment the case of the semiarid Hodna Basin in Central Algeria. *International Journal of Water Resources and Arid Environments*. Vol. 6(1) p. 13–19.
- HONORATO R., BARRALES L., PENA I., BARRERA F. 2001. Evaluación del modelo USLE en la estimación de la erosión en seis localidades entre la IV y IX Región de Chile [Evaluation of the USLE model in the estimation of erosion in six locations between the IV and IX Region of Chile]. *Ciencia e Investigación Agraria*. Vol. 28(1) p. 7–14.
- KALMAN R. 1967. Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin de Sebou [The climatic factor of erosion in the Sebou basin. Sebou Project, Report]. *Projet Sebou, Rapport*. Ronéo pp. 40.
- KOUSSA M., BOUZIANE M.T. 2018. Apport du SIG a la cartographie des zones à risque d'érosion hydrique dans la région de Djelfa, Algérie. *Lebanese Science Journal*. Vol. 19. No. 1 p. 31–46. DOI 10.22453/LSJ-019.1.031-046.
- KOUSSA M., BOUZIANE M.T. 2019. Estimation des paramètres de l'érosion hydrique par Approche SIG/USLE : cas du bassin versant de l'Oued Arab (région de Khenchela, Nord-Est de l'Algérie) [Estimation of water erosion parameters by GIS/USLE approach: Case of the Oued Arab watershed (Khenchela region, North-East Algeria)]. *Agriculture and Forestry Journal*. Vol. 3(1) p. 36–45. DOI 10.5281/zenodo.3239252.
- MAZOUR M., ROOSE E. 2002. Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans des bassins versants du Nord-Ouest de l'Algérie. En : *Techniques traditionnelles de GCES en milieu méditerranéen [Influence of vegetation cover on runoff and soil erosion on erosion plots in watersheds in north-western Algeria. In: Traditional techniques of GCES in the Mediterranean environment]*. Eds. E. Roose, M. Sabir, G. De Noni. *Bulletin – Réseau Erosion*. Vol. 21 p. 320–330.
- NEARING M., FOSTER G., LANE L., FINKNER S. 1989. A process-based soil erosion model for USDA-Water Erosion Prediction Project technology. *Transactions for the ASAE*. Vol. 32(5) p. 1587–1593. DOI 10.13031/2013.31195.
- NEITSCH S., ARNOLD J., KINIRY J., WILLIAMS J. 2011. Soil & water assessment tool theoretical documentation version 2009. *Texas Water Resources Institute Technical Report*. No. 406 pp. 647.
- PHAM T.G., DEGENER J., KAPPAS M. 2018. Integrated universal soil loss equation (USLE) and Geographical Information System (GIS) for soil erosion estimation in A Sap basin: Central Vietnam. *International Soil and Water Conservation Research*. Vol. 6(2) p. 99–110. DOI 10.1016/j.iswcr.2018.01.001.
- RANGO A., ARNOLDUS H.M.J. 1977. Applications de la télédétection a l'aménagement des bassins versants. En : *Aménagement des bassins versants [Applications of remote sensing for watershed management. In: Watershed management]* [online]. *Cahiers techniques de la FAO*. Rome. FAO p. 1–11. [Access 12.02.2019]. Available at: <http://www.fao.org/3/AD071F/AD071F00.htm>
- REINARD K.G., FOSTER G.R., WEESES G.A., MCCOOL D.K., YODER D.C. 1997. Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Agricultural Handbook*. No. 703 pp. 385.
- RODRIGUEZ J., SUÁREZ M. 2010. Comparison of mathematical algorithms for determining the slope angle in GIS environment. *Aqua-LAC*. Vol. 2. No. 2 p. 78–82.
- SEMVAL P., KHOBRADE S.D., NAINWAL H.C. 2017. Modelling of recent erosion rates in a lake catchment in the North-Western Siwalik Himalayas. *Environmental Processes*. Vol. 4 p. 355–374. DOI 10.1007/s40710-017-0234-y.
- SHIN G.J. 1999. The analysis of soil erosion analysis in watershed using GIS. Ph.D. Thesis. Chuncheon. Gang-won National University, South Korea.
- SOUIDI Z., HAMMED A., DONZE F. 2014. Cartographie du risque de dégradation des terres en région semi-aride: Cas des Monts de Beni Chougrane dans le Tell Occidental Algérien [Mapping the risk of land degradation in the semi-arid region: Case of the Beni Chougrane Mountains in the Algerian Western Tell]. *Geo-Eco-Trop*. No. 38 p. 85–102.

- STONE R.P., HILBORN D. 2000. Équation universelle des pertes en Terre (USLE) [Universal Soil Loss Equation (USLE)]. Ontario. Ministère de l'agriculture, de l'alimentation et des affaires rurales. Fiche technique. Commande. No. 00-002 pp. 8.
- THIAW I., HONORE D. 2017. Mapping of soil erosion risk in the Diarha watershed using RUSLE, RS and GIS. *American Journal of Remote Sensing*. Vol. 5. No. 4 p. 30–42. DOI 10.11648/j.ajrs.20170504.11.
- TOUBAL A.K., ACHITE M., OUILLOIN S., DEHNI A. 2018. Soil erodibility mapping using the RUSLE model to prioritize erosion control in the Wadi Sahouat basin, north-west of Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol. 190, 210. DOI 10.1007/s10661-018-6580-z.
- WOLDEMARIAM G.W., IGUALA A.D., TEKALIGN S., REDDY R.U. 2018. Spatial modeling of soil erosion risk and its implication for conservation planning: The case of the Gobebe Watershed, East Hararghe Zone, Ethiopia. *Land*. Vol. 7(1), 25. DOI 10.3390/land7010025.
- WISCHMEIER W.H., SMITH D.D. 1978. Predicting rainfall erosion losses – A guide to conservation planning. Supersedes Agriculture Handbook. No. 282. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains. Agriculture Handbook. No. 537. Washington, DC. USDA pp. 58.

