

## Research Article

# CARTOGRAPHIE DE L'ÉROSION HYDRIQUE DANS LES DEUX BASSINS VERSANTS DES OUEDS SEIL ET SEKROUNA (TUNISIE CENTRO-ORIENTALE)

<sup>1</sup>\*Azaiez Naima, <sup>2</sup>Hamza Ali and <sup>3</sup>Ansar Allaoua

<sup>1</sup>King Khalid University, Faculty of Human Sciences, Geography Department, Abha, Saudi Arabia/Institut préparatoire aux études littéraires et de sciences humaines de Tunis, Tunisie/Laboratoire de recherche : Biogéographie, Climatologie Appliquée et Dynamiques Environnementales.

<sup>2</sup>Laboratoire de recherche : Biogéographie, Climatologie Appliquée et Dynamiques Environnementales /Institut National Agronomique de Tunisie – INAT.

<sup>3</sup>King Khalid University, Faculty of Human Sciences, Geography Department, Abha, Saudi Arabia.

Received 27th September 2021; Accepted 28th October 2021; Published online 30th November 2021

### Résumé

Le présent travail consiste à faire une cartographie détaillée de l'érosion hydrique dans les deux bassins versants de l'oued Sekrouna et celui de l'oued Seil. Il s'agit d'une étude comparative entre un bassin versant montagnard (Sekrouna) et un bassin versant de piémont (Seil). Une étude détaillée du réseau hydrographique et de son organisation spatio-temporelle sera faite en s'appuyant essentiellement sur la photo-interprétation et l'observation du terrain. L'attribution d'une hiérarchie à ce réseau hydrographique paraît intéressante pour se renseigner davantage sur le degré de perturbation du paysage morphologique, le comportement vigoureux de l'écoulement et se tenir au courant de la dynamique érosive et de sa tendance. Le réseau hydrographique doit être étudié conjointement avec les caractéristiques du substratum géologique, des sols et des formations superficielles (perméabilité, compartimentage morpho-pédologique et mode d'occupation du sol). Ce sont les éléments nécessaires pour cartographier la vulnérabilité dans les deux bassins versants Seil et Sekrouna à l'érosion hydrique. La méthodologie consiste à intégrer dans un SIG quatre facteurs contrôlant l'érosion : La pente, la perméabilité des affleurements géologiques et des formations superficielles, l'érosivité des pluies et l'occupation du sol. Les cartes obtenues de chaque thème sont intégrées dans un Système d'Information Géographique pour établir une carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique, qui sera validée par des observations de terrain.

**Mots clés :** Erosion hydrique, paramètres morphométriques, compartiments morphopédologiques, vulnérabilité.

### INTRODUCTION

L'érosion hydrique constitue une question de plus en plus préoccupante pour la Tunisie Centrale (Hamza, 1988, Azaiez, 2016, 2020 et 2021). Le problème, bien que d'ordre naturel, il est survenu tardivement avec une dimension humaine de plus en plus prononcée (Attia, 1977, Azaiez, 2016). Les changements des modes d'occupation du sol, les mutations du paysage agricole et l'extension de la céréaliculture, l'arboriculture, essentiellement l'olivier et l'élevage extensif, ont manifestement incité certaines formes et modalités d'érosion pour gagner plus du terrain. Mais la dégradation actuelle de milieu naturel n'exclut pas l'influence des facteurs naturels, notamment la pente, la lithologie le ruissellement et les paramètres morphométriques. Dans ce cadre s'inscrit l'étude de l'érosion hydrique dans les deux bassins versants des oueds Sekrouna et Seil. Le premier est un affluent de l'oued Saadine drainant le versant est de l'ensemble orographique Fkirine-Bent Saidane. Il draine 29.38 km<sup>2</sup>. Le deuxième est un affluent de l'oued El Oglia. Il prend sa source sur le piémont de jebel Bou Slam et il draine une superficie de 24.99 km<sup>2</sup>. Les deux bassins versants sont orientés grossièrement nord-ouest/sud-est et se jettent dans l'oued el Alem et atteignent périodiquement la sebkhah d'El Kelbia lors des événements pluviométriques exceptionnels (Fig. 1). La dégradation des sols par décapage, ravinement généralisé, ruissellement concentré et suffosion sont devenus des processus caractéristiques dans le paysage morphologique de ces deux bassins versants. L'approche diachronique suivie dans cette étude (1956/2000 et 2020) montre que

L'érosion a pu créer des nouveaux champs de ravinement aux dépens des terres agricoles, notamment, suite de la surexploitation du couvert végétal naturel, la succession des années sèches à des inondations extrêmes et les feux de forêt qui ont ravagé ces versants à plusieurs reprises. Une telle étude sur le risque de ruissellement et de l'érosion hydrique exige une bonne compréhension du comportement hydrodynamique de système écoulement/sol/pente. Donc à travers d'une approche comparative entre ces deux bassins versants on vise de faire une synthèse sur les principaux facteurs responsables de la vulnérabilité à l'érosion hydrique. Le but principal est d'élaborer une carte de sensibilité en se basant sur les séquences topo-lithologiques de chaque unité morphologique, les modes d'occupation du sol et le coefficient de ruissellement.

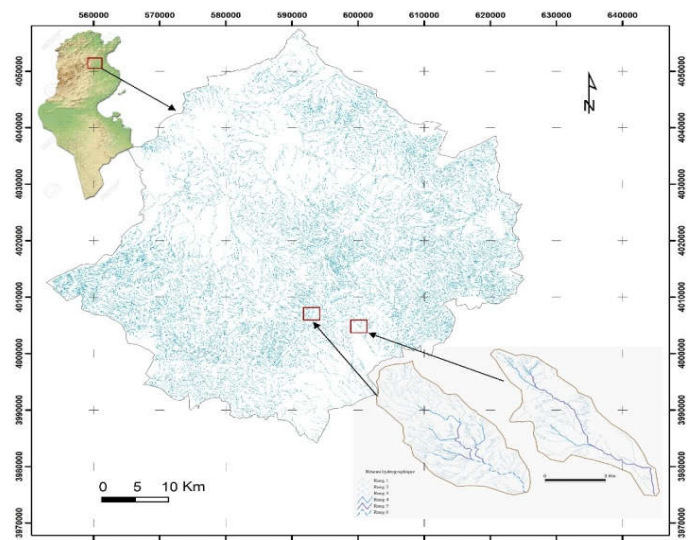


Fig. 1: Carte de localisation de deux bassins versants Sekrouna et Seil (source: Carte topographique de Zaghuan au 1/50000)

\*Corresponding Author: Azaiez Naima,

1King Khalid University, Faculty of Human Sciences, Geography Department, Abha, Saudi Arabia/Institut préparatoire aux études littéraires et de sciences humaines de Tunis, Tunisie/Laboratoire de recherche : Biogéographie, Climatologie Appliquée et Dynamiques Environnementales.

## LES PRINCIPAUX FACTEURS DE L'ÉROSION HYDRIQUE

### Des dénivellations et des pentes assez variables entre les deux bassins versants

Sur quelques km, l'altitude passe de 985m à 170 m dans le bassin versant d'oued Sekrouna, faisant une pente moyenne de 6° ce qui laisse supposer à des pentes très fortes particulièrement sur le haut-versant (Figs. 2 et 3 et tableau. 1).

Bassin versant	Le haut-versant	Le moyen-versant	Le bas de versant	La pentemoyenne	La pente de cours d'eau
Sekrouna	De 35° à 42°	5°	1°	8.3°	6.55%
Seil	De 3.2° à 7°	1°	0.3°	1.5°	1.68%

Tableau. 1 Degré de compartimentage topographique dans les deux bassins versants

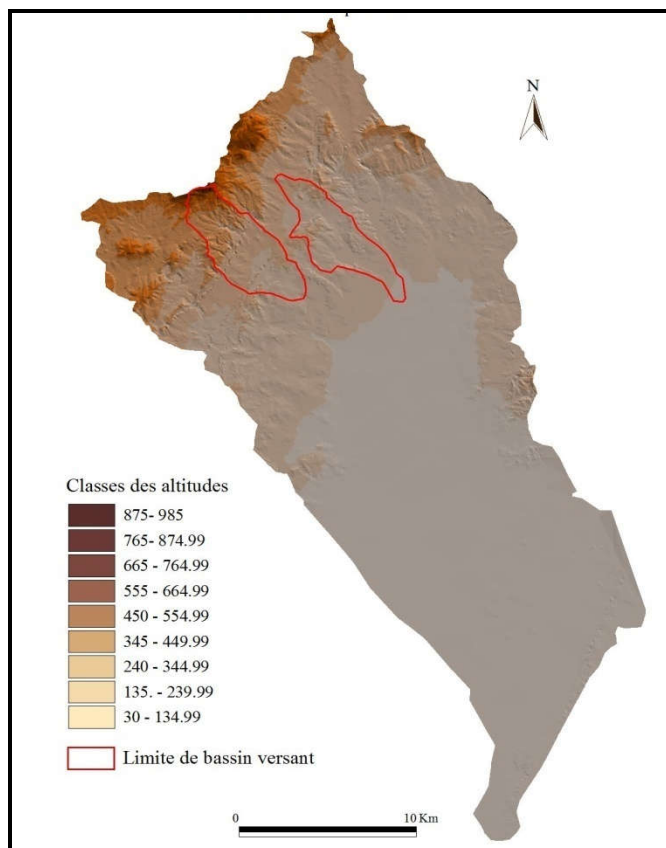


Fig. 2: Model numérique de terrain du bassin versant El Melah Bou Al Ajraf (Source: Azaiez, 2016)

La forte dénivellation (815m) et le passage brutal des versants très pentus vers des plaines très monotones favorisent une concentration rapide des eaux de ruissellement qui acquièrent rapidement un

pouvoir érosif très important dans le bassin versant de l'oued Sekrouna. Cependant, le bassin versant de l'oued Seil présente une topographie plus stable, moins accidentée et des pentes plus douces qui ne dépassent pas 1.5° en moyenne. (Tableau .1)

### Le cadre géologique

Les deux bassins versants sont relevés sur la même carte géologique de jebelFkirine. Ils présentent presque les mêmes formations géologiques. La série sédimentaire du bassin versant de l'oued Seil est dégagée purement dans des alternances gréso-argileuses allant de l'Eocène jusqu'au Mio-Pliocène. Alors que celle du bassin versant de l'oued Sekrouna est d'âge Jurassique-Messénien et présentée des alternances marno-calcaire et argilo-gréseuse avec quelques intrusions triasiques sur le haut versant de jebelFkirine. (Fig . 3)

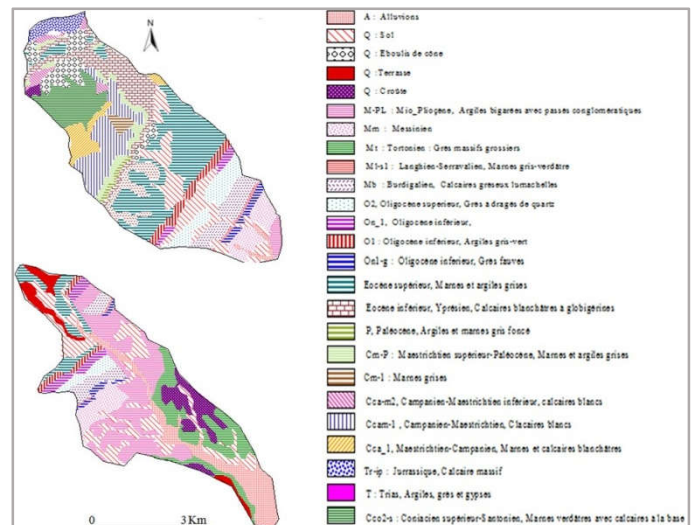


Fig. 3: Les affleurements géologiques dans les deux bassins versants (Source : carte géologique de Jebel Fkirine au 1/50000)

### \* Un soubassement lithologique de faible perméabilité

A part les escarpements des massifs montagnards taillés dans des roches gréseuses et des roches calcaires. Les deux bassins versants sont en grande partie constitués d'argiles, de marnes et des formations quaternaires argilo-limoneuses, le tout à faible perméabilité générant des ruissellements importants à la moindre pluie. Les 42.27% des affleurements sont de très faible perméabilité pour le bassin versant de l'oued Sekrouna face à 43.27% pour le bassin versant de l'oued Seil. Bien que les pourcentages soient presque les mêmes, il existe une grande différence entre les deux bassins versants dans le sens où la fraction argileuse est généralement représentée par une paragenèse composée de fortes teneurs en smectite (72 %) associés à des faibles teneurs en illite (12 %) et en kaolinite (16 %) surtout au niveau du bassin versant de l'oued Sekrouna. (Laurent et Rrossignol, 2003 ; Azaiez, 2016). La position de cette séquence imperméable, sur des versants très pentus à l'amont entraîne une dynamique de ravinement et des mouvements de masses localisés très actifs (Azaiez, 2020).

Bassin versant		Affleurements imperméables	Affleurements de très faible perméabilité	Affleurements moyennement perméables	Affleurements perméables
Sekrouna	Étendue en km <sup>2</sup>	10	2.6	3.30	14
	%	33.55%	8.72%	11.07%	46.66%
Seil	Étendue en km <sup>2</sup>	8.68	2.07	2.70	11.46
	%	34.82%	8.45%	10.92%	45.88%

Pour l'élaboration de la carte de la perméabilité nous sommes basés sur deux étapes. La première consiste à dégager la nature de la roche mère sous-jacente obtenue de la carte géologique (Hamza, 1996 ; Hamza et al, 1997, Laurent et Rössignol, 2003, Boussema et al, 2004, Bkhairi, 2012; Azaiez, 2016 et 2020). La deuxième étape est complétée par des observations de terrain en relevant la structure des agrégats et des analyses granulométriques permettant d'identifier la texture de la formation superficielle. En fait, plus la texture du sol est fine plus l'infiltration est faible et là où la texture est grossière l'infiltration sera plus importante. Les affleurements les moins perméables se concentrent en grande partie sur le cours moyen de deux bassins versants (Fig .4).

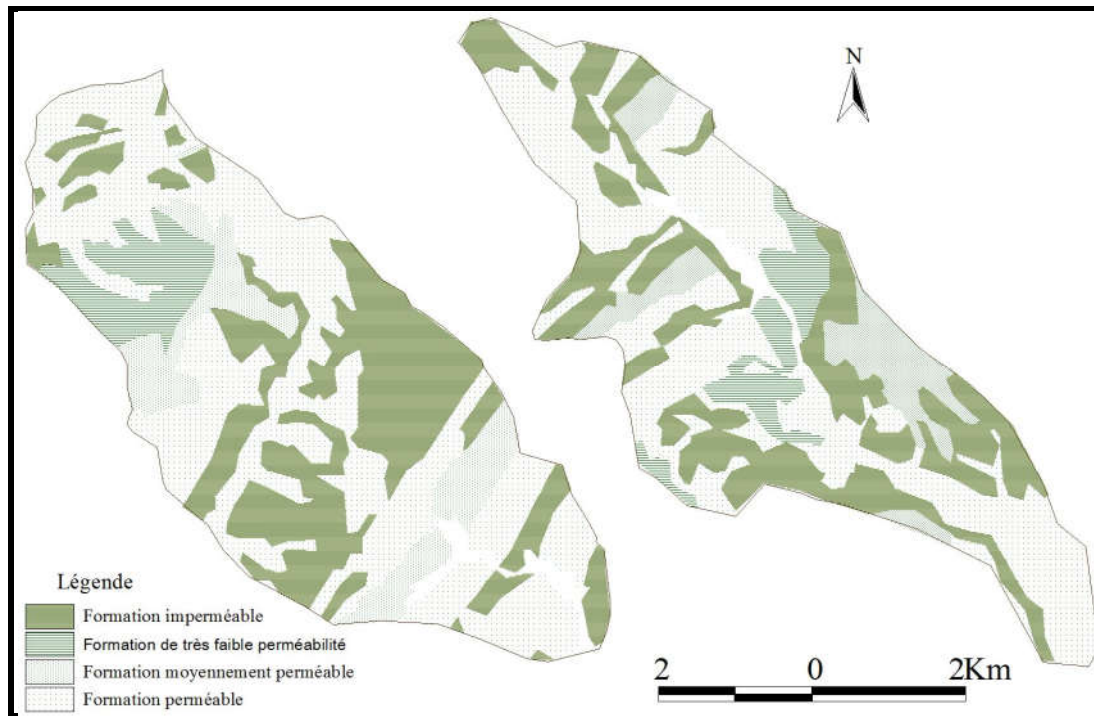


Fig. 4: Carte de la perméabilité dans les deux bassins versants

**Des pluies irrégulières et agressives**

Le climat est subhumide dans les secteurs nord-ouest du bassin versant de l'oued Sekrouna et semi-aride moyen dans le bassin versant de l'oued Seil d'après la classification d'Emberger. La variation interannuelle des pluies oscille de 1 à 6.65 fois dans la station de TarfChena, la plus proche du bassin versant Sekrouna (Fig .5).

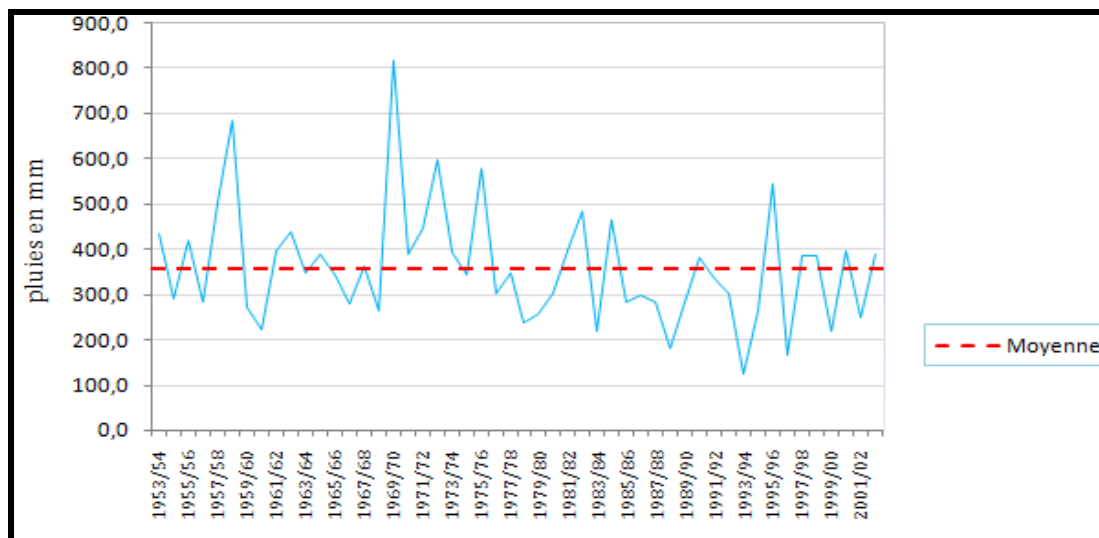


Fig.5: Les pluies moyennes annuelles entre 1953 et 2003 dans la station de TarfChena (Source: INM, Tunis)

En effet, l'irrégularité inter-saisonnière et inter-mensuelle est d'autant plus marquée. Les deux bassins versants sont confrontés à des pluies automnales. Elles constituent jusqu'à 68.36% du total annuel pendant la dernière normale. Il s'agit des pluies très agressives qui s'abattent sur des sols dénudés et à couvert végétal amoindri sous l'effet de la sécheresse estivale coïncidant avec la saison des labours. Les pluies sont, non seulement irrégulières, mais intenses aussi. Les averses de 5 à 15mm/heure représentent dans la station d'el Ogla « 35%, 33.8%, 23.1% et 23.1% respectivement en automne, en hiver en printemps et en été » (Abdelkhalek, 2009) (Fig. 6). Pour l'automne une grande partie des averses s'abattent au cours des mois de septembre et d'octobre. La même station a enregistré des averses supérieures à 100mm/heure, c'est le cas de l'averse survenue le 17/05/2000 (Fig .7).

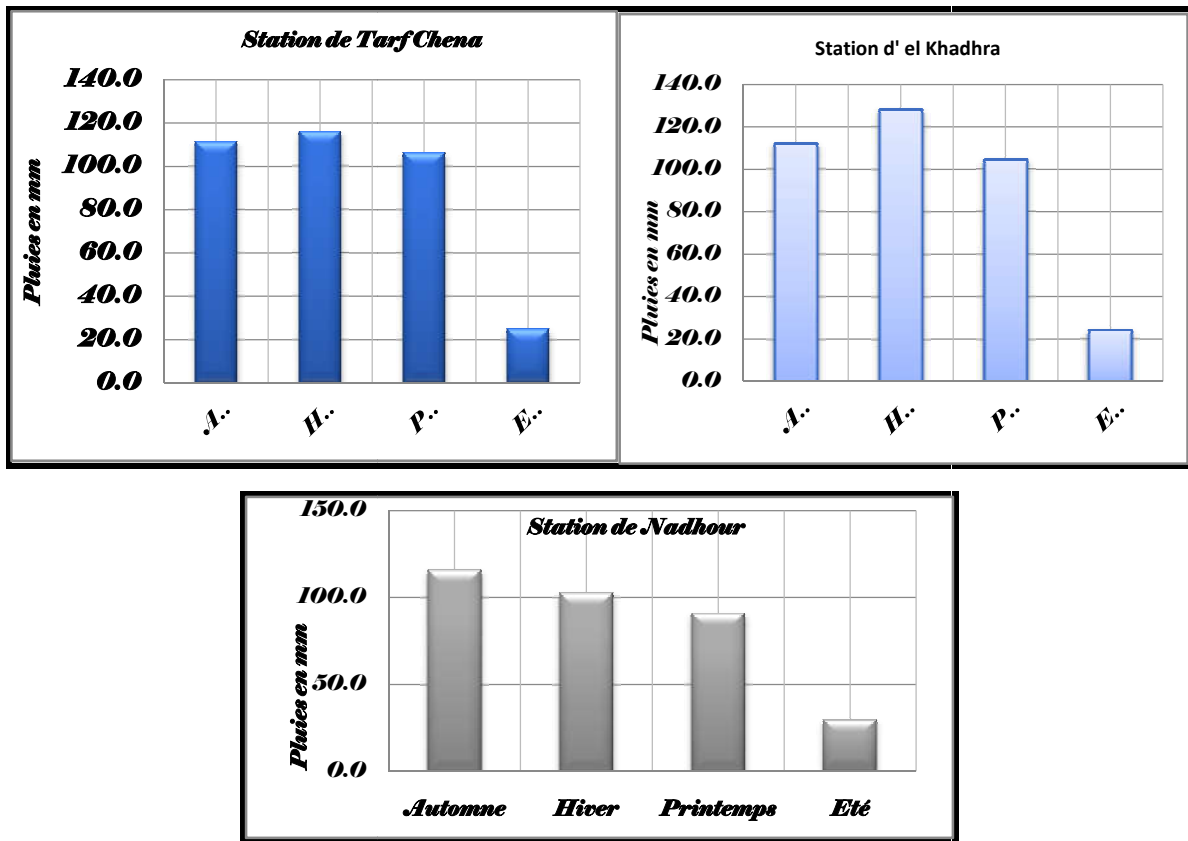


Fig.6: La répartition saisonnière des pluies dans les trois stations (el Khadhra, Nadhour et TarfChena)

Plus récemment, la station d'El Khadhra du bassin versant de l'oued Seil a enregistré le 31/10/2011 une averse de 180mm pendant 8 heures.

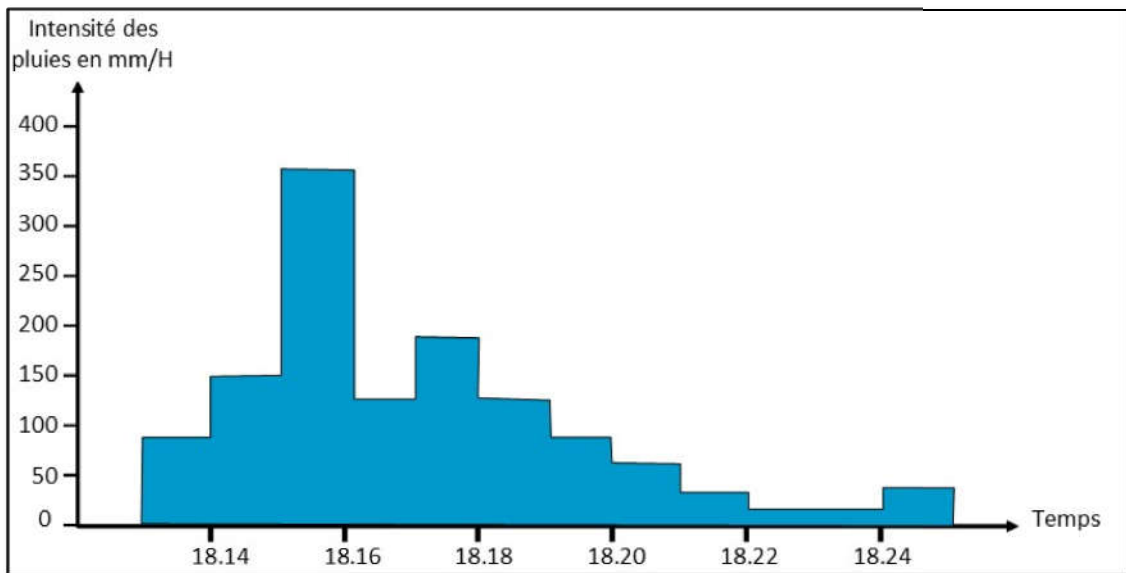


Fig .7: Hyétoqramme de l'averse de 17/05/2000 dans la station d'el Ogla (Abdelkhalek, 2009 et Azaiez, 2016)

### Un réseau hydrographique très ramifié

L'obtention de l'ordre du réseau hydrographique à travers la méthode de Strahler est faite pour estimer l'évolution spatio-temporelle d'incisions en nombre et en longueur. Le réseau hydrographique dans le bassin versant de l'oued Sekrouna a passé de l'ordre 5 en 1952 à l'ordre 6 en 2000. Le nombre d'incisions d'ordre 1 a évolué de 20 % entre 2000 et 2020. Cette évolution se voit aussi à travers de la longueur des incisions qui a presque doublé (de 101.65km a 172.25km) avec à peu près 58%des incisions sont d'ordre 1 et 81.69% sont d'ordre 1 et 2. Dans le bassin versant de l'oued Seil, la ramification a passé de l'ordre 4 en 1952 vers l'ordre 5 en 2000 mais les incisions d'ordre 1 sont moins de la moitié (48%) (Fig .8). De ce fait, nous pouvons conclure que l'extension du réseau hydrographique est d'autant plus rapide et plus compliquée dans le bassin versant de l'oued Sekrouna. Cette évolution est en grande partie commandée par des incisions apparus en ex nihilo aux dépens d'énormes étendues des formations imperméables sur des versants à pentes assez fortes (Azaiez, 2016).

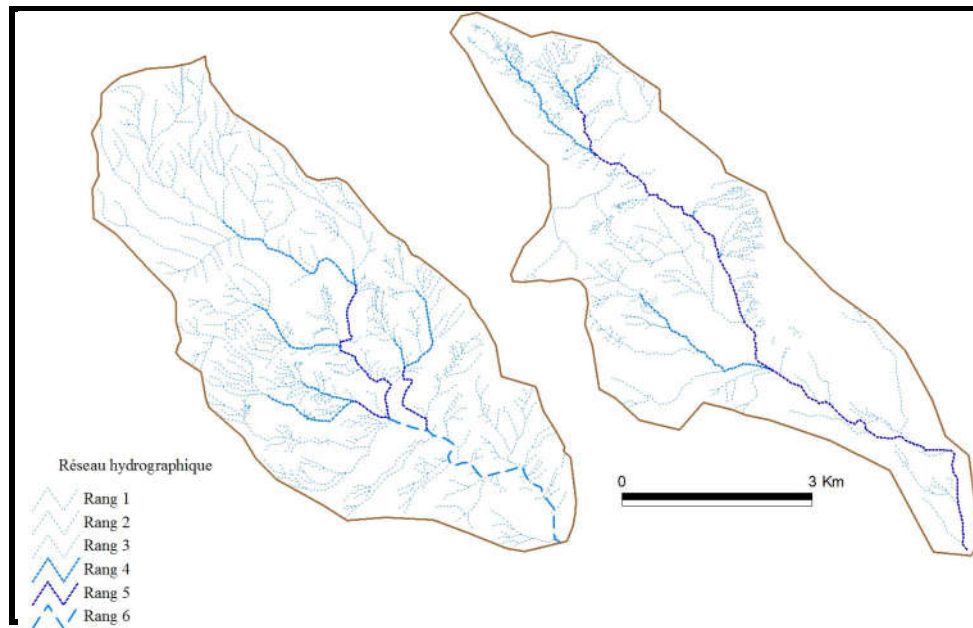


Fig. 8: Cartes du réseau hydrographique dans les deux bassins versants des oueds Seil et Sekrouna

L'évolution de la densité de drainage et la longueur d'incisions sont l'expression de la prolifération de l'érosion régressive. Elle traduit aussi l'emprise de ravinement. En fait, la densité de drainage du bassin versant l'oued Sekrouna est passée de 3.45 km/km<sup>2</sup> en 1952 vers 5.86 km/km<sup>2</sup> pour l'année 2000 et 6.23 km/km<sup>2</sup> en 2020. La situation dans le bassin versant de l'oued Seil est moins grave que prévue. Elle est passée de 2.54 km/km<sup>2</sup> en 1952 à 4.28 km/km<sup>2</sup> en 2000 et 4.35 km/km<sup>2</sup> en 2020. Sachant que cette densité est une moyenne obtenue pour tout le bassin-versant, mais elle est très variable selon les différentes séquences lithologiques. Elle est de 6.38 km/km<sup>2</sup> en moyenne dans les secteurs formés par les argiles et les marnes de l'Eocène.

**Les paramètres morphométriques :**

Les paramètres morphométriques constituent un élément de base dans l'estimation de ruissellement et l'évaluation de la susceptibilité de deux bassins versants à l'érosion hydrique (Musy et Higy, 1998; Laborde, 2009; Fehri *et al.*, 2011; Azaiez, 2016). A travers l'indice de compacité, le rectangle équivalent et la courbe hypsométrique, nous pouvons insister sur la forme assez compacte du bassin versant de l'oued Sekrouna et au contraire la forme allongée du bassin versant de l'oued Seil. (Tableau.3 et Figs 9 et 10)

Bassin versant	Périmètre	Surface	Indice de compacité	Longueur du rectangle équivalent	Largeur du rectangle équivalent	Forme du bassin versant
Seil	27,69	24,99	1,55	11,711	2,133	Allongée
Sekrouna	24,34	29,38	1,25	8,85	3,32	Légèrement ramassée

Tableau. 3 Les paramètres morphométriques de deux bassins versants (Source: Carte topographique de jbel Fkirine et Géotraitement des données sous Arc Gis)

Cette réalité est aussi conditionnée par des pentes et des dénivelés maintenus à des niveaux assez élevés, notamment dans le bassin versant de l'oued Sekrouna et de moins au moins fortes dans le bassin versant de l'oued Seil (Tableau .4 et Figs 9 et 10).

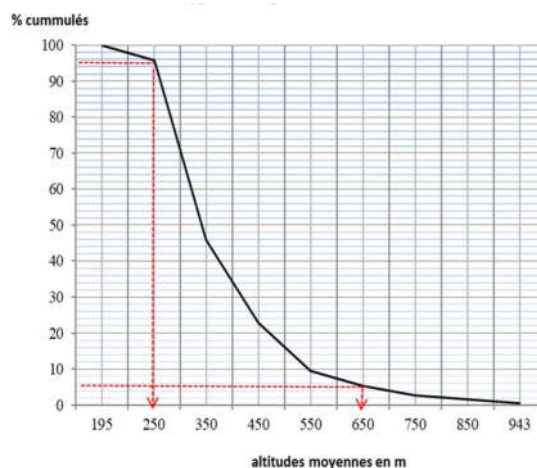


Fig.9: Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Sekrouna (Source: Carte topographique de jbel Fkirine et Géotraitement des données sous Arc Gis)

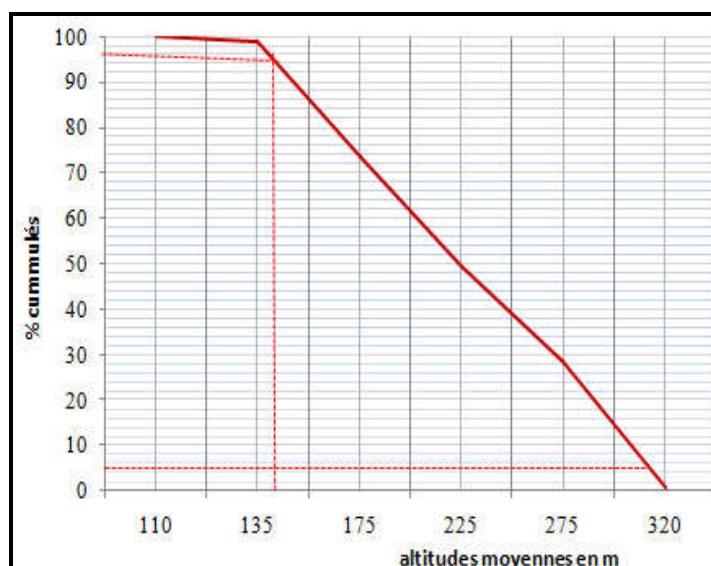


Fig.10: Courbe hypsométrique du bassin versant de l'oued Seil (Source: Carte topographique de jbelFkirine et Géotraitement des données sous Arc Gis)

Bassin versant	Altitude moyenne $H_{moy} = \sum H_i^* A_i / A$	(H5%-H95%)	Indice de pente globale $IG = (H5\% - H95\%) / L$	La dénivelée spécifique $D_s = I_g * \sqrt{A}$	Description
Sekrouna	336m	400m	45.19m/km	244.94 m	Relief assez fort marqué par des fortes pentes
Seil	207.49 m	160 m	13.662m/km	68.284	Relief faible à très faible pente

Tableau.4 Les paramètres hypsométriques et l'indice de pente dans les deux bassins versants (Source: Carte topographique de jbelFkirine au 1/50000 et Géotraitement des données sous Arc Gis)

La susceptibilité à l'érosion hydrique trouve ses origines dans l'agencement des unités topographiques, les contrastes lithologiques, la faible cohésion intra-granulaire des sols très peu évolués, l'agressivité des pluies automnales, la forme morphométrique très ramassée du bassin versant ainsi que la de l'écoulement qui acquière plus de compétence avec la puissance du relief.

#### L'évolution de l'occupation du sol

La forte densité des ruines romaines et arabes conservés partout dans les deux bassins versants, témoigne une ancienne présence humaine. Des anciens vestiges qui remontent à la période néolithique sont encore conservés sur les hauts versants de Jebel Bou Slam. Cette ancienne occupation est traduite aussi par le défrichement et la mise en culture des grandes superficies des terres, parfois situées sur des versants peu aptes à la mise en culture (Attia, 1977; Le Houérou, 1995; Abdallah *et al.*, 2015; Azaiez, 2016; Azaiez, 2021). La régression rapide du couvert végétal au profit de la céréaliculture était plus particulièrement importante dans le bassin versant de l'oued Seil grâce à son accessibilité. Un tel phénomène est amplifié faute de la modestie de son relief. Ainsi, une grande différence a été dégagée entre les deux bassins versants de point de vue occupation du sol. Plus de **87%** de la surface totale du bassin versant de l'oued Seil est à vocation céréalière, **10%** sol nu et **3%** seulement sont délivrés à la broussaille. Il s'agit des grandes parcelles aménagées en banquettes, dont la majorité sont bien entretenues. En contrepartie, les terres à vocation céréalière représentent seulement le  $\frac{1}{4}$  de la surface de bassin versant de l'oued Sekrouna (Figs 11 et 12). **27%** de la surface totale sont des terres et des versants dénudés alors que presque la moitié de la surface est formée par des forêts et des broussailles. Les deux bassins versants, en particulier le bassin versant de l'oued Seil, ont connu une véritable steppe exprimée par une régression de la forêt méditerranéenne entre 1952 et 2000 sous l'effet du surpâturage, du charbonnage et de l'extension des terres labourables (Abdallah *et al.*, 2015; Azaiez, 2016; Azaiez, 2021). Cette occupation s'est faite même aux dépens des terres marginales à sols peu épais et caillouteux des hauts glacis et des versants pentus, secteurs préférentiels pour l'extension des faciès steppiques. L'usage du sol, les pratiques et des engins non appropriés pour le labour des champs moyennant les tracteurs à polydisques sont devenus la règle avec toutes ses conséquences néfastes sur la structure du sol et la stabilité des versants.

Bassin versant	Couvert végétal naturel (forêts et broussailles)	Terres à vocation agricole	Sols et versants dénudés
Seil	2.9%	87.1%	10%
Sekrouna	48%	25.2%	26%

Tableau.5: L'occupation du sol dans les deux bassins versants (Source: carte agricole de Zaghuan, 2003 et Image google Earth Pro, 2020)

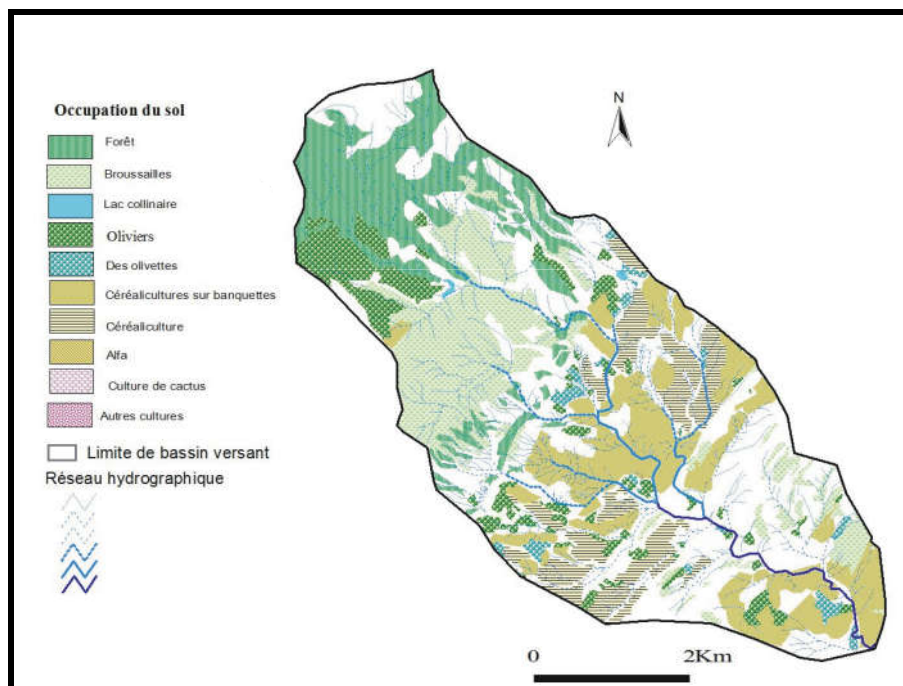


Fig. 11: Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'oued Sekrouna en 2020 (Source: carte agricole de Zaghouan, 2003 et Imagegoogle Earth Pro, 2020)

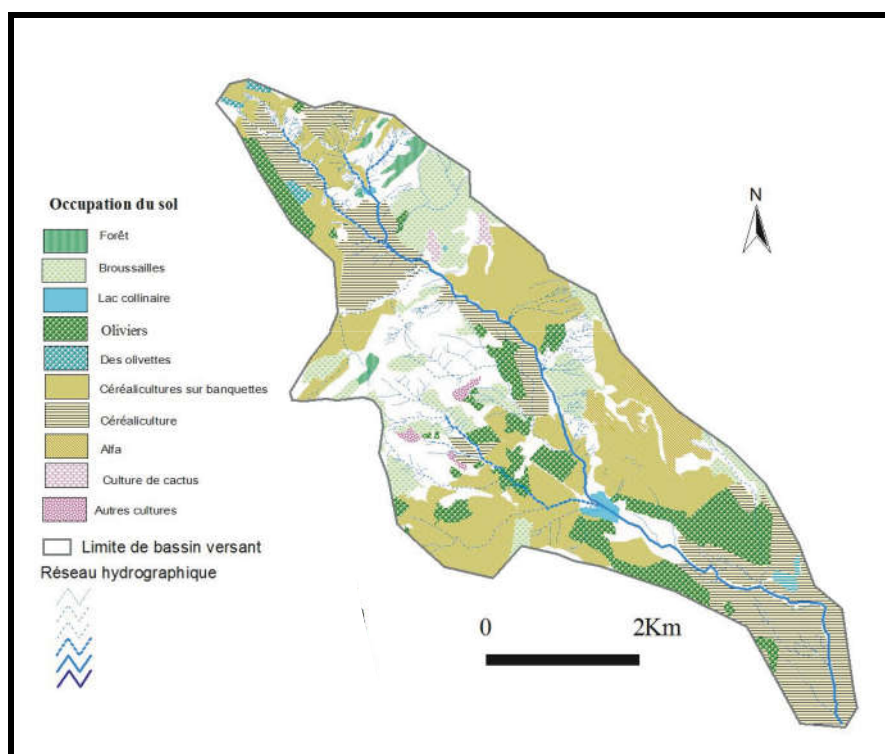


Fig.12: Carte d'occupation du sol du bassin versant de l'oued Seil en 2020 (Source: carte agricole de Zaghouan, 2003 et Image google Earth Pro, 2020)

## UNE ÉROSION HYDRIQUE PRÉDOMINANTE ET VARIÉE

### Les différents processus de la manifestation érosive

#### \* Le ruissellement

La dynamique érosive au niveau du bassin versant de l'oued Sekrouna est marquée essentiellement par l'effet des eaux de ruissellement, particulièrement sur le moyen versant, vu la raideur de la pente et l'étendue des affleurements à perméabilité réduite. Dans ce cas le ruissellement prend rapidement le pas sur les infiltrations occasionnant des différents types de dégradation allant du décapage localisé jusqu'au ravinement hiérarchisé et des terres en badlands.



**Photo.1** Terres en badlands (affluent d'oued Sekrouna), prise de vue 29/12/2012, Azaiez, 2016

A la sortie de jebelToujjine et jebelFkirine l'écoulement crée des incisions linéaires très profondes. Sur le moyen versant et au niveau des principaux cours d'eau c'est le sapement de berge qui prédomine aux dépens des terrasses et des banquettes argileuses et limono-argileuses.

**\* Le glissement local :**

C'est un processus très actif sur les berges des cours d'eau et les talus de glaciis d'ablation, installés dans des formations argilo-marneuses. Et au niveau de contact entre les marnes et les calcaires sur les versants très pentus (Azaiez, 2016).

**\* L'infiltration**

Contrairement au bassin versant de l'oued Sekrouna, la dynamique dans le bassin versant Seil est liée, plutôt, à l'infiltration à travers les fentes de dessiccation des terrains argilo-sableux du Moi-Pliocène assez vulnérables. Ce processus favorise l'apparition des champs de suffosion et des glissements locaux (Photos 1, 2 et 3).



**Photo.2** Glissement local sur une berge concave de l'oued Sekrouna (Prise de vue: le 27/12/2012, Azaiez, 2016)





**Photo.3** Sapement des berges accompagné de phénomène de suffosion (affluent d'oued Seil) Prise de vue: le 05/11/2011, Azaiez, 2016.

### L'évolution de la dynamique érosive

Afin de s'arrêter sur les tendances de la dynamique érosive, nous avons procédé à une étude diachronique comparative de l'extension des cours d'eau entre deux dates différentes 1952 et 2000 de point de vue nombre et longueur d'incisions selon la méthode de Strahler. L'évolution la longueur et de nombre des incisions dans les deux bassins versants traduit l'emprise des ravinements et de décapage (Tableaux 6 et 7). La densité de drainage est passé de 3.45 km/km<sup>2</sup> à 5.86 km/km<sup>2</sup> entre 1952 et 2000 pour oued Sekrouna et de 2.54 km/km<sup>2</sup> à 4.28 km/km<sup>2</sup> pour oued Seil. Cette densité est une moyenne à l'échelle de tout le bassin versant, mais elle est très variable selon les différentes formations géologiques. En fait, elle présente 6.86 km/km<sup>2</sup> dans les secteurs formés par des roches imperméables de l'Eocène supérieur. (Tableau. 8)

Année	Longueur et nombre	Ravin d'ordre 1	Ravin d'ordre 2	Ravin d'ordre 3	Ravin d'ordre 4	Ravin d'ordre 5	Ravin d'ordre 6	Total
1952	Longueur en km	50,8	30	5,35	6,2	9,3	0	101,65
	Nombre	132	35	8	3	1	0	179
Total 1952 en %	nombre en 1952 en %	73,75%	19,55%	4,46%	1,68%	0,56%	0	100%
	% de la longueur 1952	49,97%	29,51	5,26	6,09%	9,14%	0	100%
2000	Longueur en km	99,44	41,26	14,2	8,1	4,9	4,35	172,25
	Nombre	453	99	24	7	3	1	587
Total 2000 en %	nombre en 2000 en %	77,17%	16,86%	4,08%	1,19%	0,53%	0,17%	100%
	% de la longueur 2000	57,74%	23,95%	8,25%	4,70%	2,84%	2,52%	100%

**Tableau.6** Evolution de la longueur et du nombre d'incisions dans le bassin versant de l'oued Sekrouna entre 1952 et 2000 (Source: Photographies aériennes 1952 et Orthophotos 2000)

Année	Longueur et nombre	Ravin d'ordre 1	Ravin d'ordre 2	Ravin d'ordre 3	Ravin d'ordre 4	Ravin d'ordre 5	Total
1952	Longueur en km	36.53	11.98	5.3	9.63	0	63.5
	nombre en 1952 en %	101	18	4	1	0	124
2000	Longueur en km	51.49	27.62	10.61	6.74	10.91	107.37
	Nombre	343	89	21	7	1	461
	nombre en 2000 en %	74.45%	19.30%	4.55%	1.51%	0.21%	100%
	% de la longueur 2000	48%	25.72%	9.88%	6.27%	10.16	100%

**Tableau.7:** Evolution de la longueur et du nombre d'incisions dans le bassin versant de l'oued Seil entre 1952 et 2000 (Source : Photographies aériennes 1952 et Orthophotos 2000)

	Densité de drainage en 1952	Densité de drainage en 2000	Densité de drainage dans les formations peu imperméables
<b>Seil</b>	2.54 km/km <sup>2</sup>	4.28 km/km <sup>2</sup>	6.17 km/km <sup>2</sup>
<b>Sekrouna</b>	3.45 km/km <sup>2</sup>	5.86 km/km <sup>2</sup>	6.4 km/km <sup>2</sup>

**Tableau.8** Evolution de la densité de drainage dans les deux bassins versants entre 1952 et 2000 (Source : Photographies aériennes 1952 et Orthophotos 2000)

## La carte de vulnérabilité dans les deux bassins versants

Cette carte a été élaborée en tenant compte de quatre facteurs: La pente, la perméabilité, le coefficient de ruissellement selon le type d'occupation du sol et l'état des aménagements antiérosifs. En observant la carte de la sensibilité, des particularités et des nuances peuvent être dégagées entre les deux bassins versants. Dans le bassin versant d'oued Seil les secteurs les plus sensibles à l'érosion hydrique représentent **9.38 km<sup>2</sup>** soit **37.5%**. Ils sont localisés sur le trajet de cours principal. Ces secteurs sont formés de roches nues argilo-marneuses de Coniacien Supérieur-Santonien et de Mio-Pliocène et de terres. Il s'agit essentiellement de domaine de céréaliculture non aménagé en banquettes. Alors qu'au niveau de bassin versant de l'oued Sekrouna, presque **13.25 km<sup>2</sup>** sont très sensibles à l'érosion hydrique soit **45%** dont plus de **85%** de ces terres sont en position de moyen versant dans la formation argilo-marneuse de l'Eocène (Formation Souar) (Fig. 14).

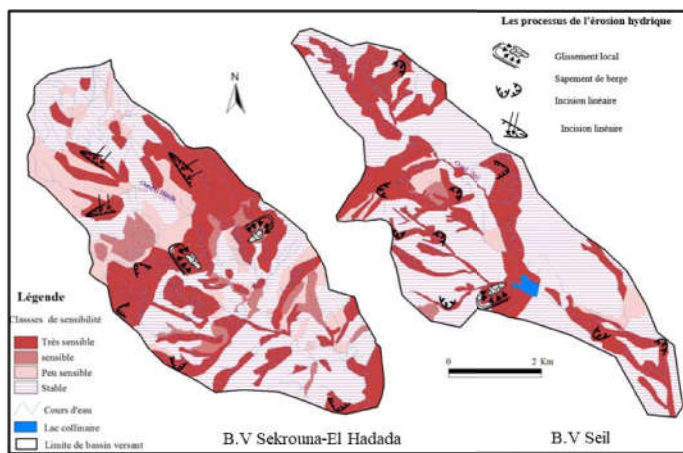


Fig.14: Cartes de sensibilité à l'érosion hydrique dans les deux bassins versants des oueds Seil et Sekrouna

## La sensibilité à l'érosion hydrique par unité morphologique

La superposition de la carte de la sensibilité à la carte des unités morphologiques montre que la vulnérabilité est d'autant plus importante dans les plaines d'érosion dans la combe de flanc et au niveau talus de glacis (Fig. 15). Toutefois, les surfaces structurales, qui forment les revers des crêtes, ne sont pas à l'écart de l'action des eaux courantes. Par endroit, les revers des crêtes sont disposés à un décapage très intense (les photographies aériennes et observation du terrain.)

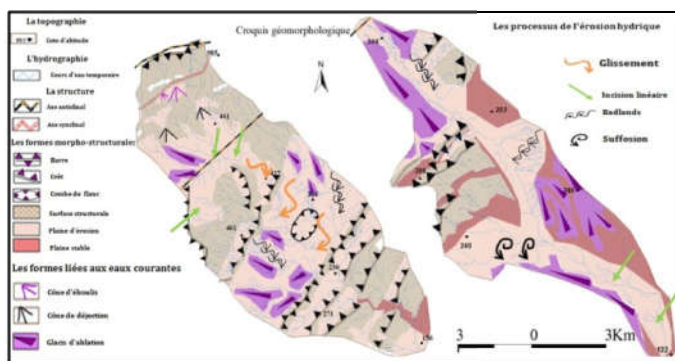


Fig.15: Cartes de sensibilité à l'érosion hydrique par unité morphologique (Source: Cartes topographique et géologique de jbelFkirine au 1/50000)

## DISCUSSION ET RECOMMANDATIONS

En termes de discussion et de recommandation, il s'est avéré difficile de constituer une connaissance suffisante sur le fait de la dégradation des terres dans les deux bassins versants Seil et Sekrouna en se limitant uniquement à une approche diachronique qualitative (Felah, 2010 ; Azaiez, 2016; Azaiez *et al.*, 2020 et 2021). Il paraît important de varier les approches et les techniques, parce qu'il s'agit d'un phénomène compliqué. Il provient d'une variété de caractéristiques, topographiques, géologiques, météorologiques, hydrologiques et humaines, qui se manifestent parfois d'une façon conjuguée. Ainsi la modélisation et la quantification des pertes en terres à travers des modèles empiriques ajustés et adaptés aux conditions locales constituent un choix primordial et nécessaires dans la mesure où ils peuvent apporter d'autres éléments réponse et d'éclairage à ce problème d'ordre mondial (Azaiez, 2016, Azaiez *et al.* 2021). De son côté le suivi du traceur isotopique du Césium 137 offre un autre axe de recherche dans la zone d'étude. Cette méthode isotopique est considérée prometteuse en termes de fiabilité. Elle va permettre de faire d'importants progrès dans le contrôle de l'érosion et la vérification de l'apport des méthodes qualitatives et empiriques précédemment développées (Azaiez, 2020, Azaiez *et al.*, 2021).

## CONCLUSION

En guise de conclusion, on peut dire que cette recherche est un essai préliminaire pour déterminer les facteurs responsables de l'érosion hydrique en se basant sur la carte géomorphologique, la carte de la perméabilité, la carte de pente, l'occupation du sol et les paramètres morphométriques. Les deux bassins versants des oueds Sekrouna et Seil sont confrontés à des sérieux problèmes de déperdition des terres et des eaux et qui sont parfois exploités de façon non appropriée par une population pratiquant la céréaliculture et l'élevage extensif. Mais la vulnérabilité est d'autant plus sensible et accrue dans le bassin versant de l'oued Sekrouna. Après l'étude des différents facteurs, le bassin versant de l'oued Sekrouna se montre le plus disposé à une érosion hydrique très intense vue la raideur de ses versants, surtout sur le cours moyen. La puissance de son relief, l'importance de l'étendue des roches imperméables et la compacité de sa forme, sont des facteurs qui favorisent une convergence et une concentration rapides des eaux de ruissellement dans les plaines de très faible pente. Alors que le bassin versant de l'oued Seil présente une lithologie assez perméable à prédominance de sable. La majorité de ses versants sont aménagés en banquettes, ce qui a contribué au freinage de décapage des sols. Ainsi l'érosion est considérée plus faible sur la majorité des versants, comparé au bassin versant de l'oued Sekrouna. Aujourd'hui, les changements des modes de l'occupation du sol, la pente, les formations imperméables et l'agressivité des pluies viennent de se placer à la base de cette situation de crise érosive. Celle-ci se manifeste par une déperdition des ressources pédologiques par des multiples processus d'érosion principalement hydrique dont la connaissance approfondie de ces processus constitué la base de toute œuvre de lutte antiérosive efficace.

## Funding

All authors are funded through the General Research Project from the Deanship of Scientific Research at King Khalid University under research grant number (RGP.1/241/1442). Faculty of Human Sciences, Geography Department, Abha, Saudi Arabia.

**Acknowledgments:**

The authors extend their appreciation to the Deanship of Scientific Research at King Khalid University for funding this work through General Research Project under grant number (RGP.1/241/1442) Faculty of Human Sciences, Geography Department, Abha, Saudi Arabia.

[

**REFERENCES**

- Abdelkhalek. A (2009).** Les intensités des pluies dans la Tunisie orientale, Thèse de Doctorat en Climatologie, 2009.
- Abdallah. H, Souilmi. H. (2015).** Analyse des changements d'occupation du sol et des transformations socio-économiques au cours du XXème siècle dans les marges arides du Tell oriental (Dorsale centrale, environs d'Es Srassif, Tunisie), Géographie Physique et environnement, volume 9, pp 81-109.
- Attia. H. (1977).** Les hautes steppes tunisiennes, de la société pastorale à la société paysanne, Thèse de doctorat d'Etat ès Lettres (géographie humaine), Université de Paris VII, 700p.
- Azaiez, N., Baazaoui, N., Blel, I.F. et al.** Contribution of the adjustedempiricalanalysis of the RSULE and FAO models in the estimation of soillosses in the watershed of Wadi El Hayat (Saudi Arabia). Arab J Geosci 14, 2185 (2021). <https://doi.org/10.1007/s12517-021-08561-7>
- Azaiez N. (2021).** Evaluation of the functioning of the urban agricultural terraces system through the isotopic tracers of Cesium 137 at the level of the AL Arin -Graiguer meander: middle course of the wadi Abha (Southwestern Saudi Arabia), International Journal of Innovation Scientific Research and Review, Vol. 03, Issue, 07, pp.1464-1474.
- Azaiez N. (2020).** Soil erosion measurement using fallout cesium 137 technique in Sidi salah basin (Eastern Central Tunisia). GeoProgress Journal, vol. 7, i. 1, p. 11-35. En ligne : [http://www.geoprogress.eu/wp-content/uploads/2021/02/GeoJ2020-1.Naima\\_.pdf](http://www.geoprogress.eu/wp-content/uploads/2021/02/GeoJ2020-1.Naima_.pdf)
- Azaiez N. (2020).** Modelling the Soil Loss in the Watershed of the Chaddad Wadi in Terms of Both Rockiness and Soil Slaking Indexes. International Journal of Geosciences, vol. 11, no 3, p. 100-124. DOI 10.4236/ijg.2020.113007
- Azaiez N. (2016).** La dynamique géomorphologique actuelle dans le bassin versant de l'oued el Melah Bou el Ajraf: cartographie et essai de quantification de l'érosion hydrique. Thèse de Doctorat en géomorphologie, 271 p.
- Bkhairi. A, (2012).** Suffosion et érosion hydrique en milieux semi-arides, le cas des hautes steppes tunisiennes (Tunisie centrale), Revue de Physio-Géo, Volume 6, Année 2012.
- Boussema Md Rached, MennoubiSfarFelfoul, HejerBouchnaketMhamedHabib, Snane.(2004).** Etude de l'évolution du ravinement en fonction de la lithologie dans les bas versant des oueds El Hammam et Rmel (La Tunisie Centrale), Télédétection, 2004, vol.4, n°1, pp75-93.
- Laborde J.-P. (2009).** Éléments d'hydrologie de surface. Université de Nice, 192 p.
- Le Houérou H. N. (1995).** « Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du nord de l'Afrique : diversité biologique, développement durable et désertisation ». Montpellier : CIHEAM, coll. « Options Méditerranéennes », série B, no 10, 396 p.
- Hamza. A, Nasri. S et Sfar. F (1997).** Contribution à l'étude de la dynamique érosive dans le bassin-versant de l'oued Ettiour (région de Haffouz-Tunisie Centrale, 10p, 1997.
- Hamza. A (1996).** La dynamique érosive dans la région de Meknassi lors de la crue de janvier 1990, CERES, 12p, 1996
- Hamza A. (1988).** Érosion et lutte anti-érosive dans le bassin versant d'oued Zroud (Tunisie centrale), de l'approche exogène à la stratégie technico-paysanne. Thèse de Doctorat, Université de Strasbourg, 3 volumes, 1191 p.
- Fehri. N (2011).** Etude des facteurs de vulnérabilité hydrogéomorphologique dans le grand Tunis : approche comparative entre trois bassins versants, Revue Tunisienne de Géographie n° 41, Année 2011.
- Laurent. F et Rrossignol. J-P (2003).** Cartographie des propriétés hydriques des sols à partir de la lithologie et des pentes, Etude et gestion des sols, volume 10,3, 2003.
- Musy A., Higy C. (1998).** Hydrologie appliquée, Institut d'Aménagement des Terres et des Eaux, Hydrologie et Aménagements, Lausanne-Suisse, 368 p.

\*\*\*\*\*