

Apport des SIG dans l'élaboration d'un plan d'aménagement anti-érosif : Cas du sous bassin de Bouguedfine (Zahrez Chlef, Algérie)

Amina ABDELBAKI^{1,2}, Chérifa ABDELBAKI^{3,4}, Elhadi OLDACHE¹, Ahcène SEMAR¹

¹Département de Foresterie et protection de la nature, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie, Rue Hassen Badi, Belfort, El Harrach–
Alger, Algérie.

²Département de Biologie, Faculté SNV, Université de Khemis Meliana, Rue Thniet El Had Khemis Miliana, W-Ain Defla - Algérie

³Département d'Hydraulique, Faculté de Technologie – Université Abou Bakr Belkaid, Tlemcen

⁴Equipe 1, Laboratoire EOLE, Université de Tlemcen, BP 230 - 13000 Chetouane Tlemcen, Algérie.

E-mail : abdelbakicherifa@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history:

Received 7 September 2017

Accepted after corrections:

25 January 2018

Keywords:

Protection Management Plan,
G.I.S, Water Erosion,
Under Basin of wadi
Bouguedfine, Algeria.

ABSTRACT

Contribution of GIS in the development of an anti-erosion plan - Case of the under-basin of Bouguedfine (Zahrez Chlef, Algeria). Soil erosion by rain and runoff is a serious degradation process of the soil capital, resulting in a stripping of the surface horizon, a decline in its fertility level also deteriorating the farmers living conditions. The watershed management is probably the most effective way to fight against this phenomenon. This work aims to demonstrate the value that can provide a tool such as Geographical information system (GIS) for watershed development and to enhance the geographical information already existing, by the realization of a global map of vulnerability of Wadi Bouguedfine micro watershed to erosive phenomenon considering the physical climate factors which are responsible for water erosion, such as slope, rainfall, lithology, slope exposure, land use and its nature, based on a detailed analysis of the study area to elaborate the database. The sensitive sites are classified in 05 categories, from the most to the least sensitive, an intervention strategy in the micro watershed of Wadi Bouguedfine is contributed (Managements of water streams and conservation of sloped soils), by proposing a set of protection technologies.

RESUME

L'érosion des sols par la pluie et le ruissellement est un grave processus de dégradation du capital sol, entraînant un décapage de l'horizon superficiel, une baisse de son degré de fertilité et la détérioration des conditions de vie des paysans. L'aménagement des bassins versants est sans doute le moyen le plus efficace pour lutter contre ce phénomène. Le présent travail vise à démontrer l'intérêt que peut apporter un outil tel que le Système d'information Géographique (SIG) pour l'aménagement des bassins versants et à mettre en valeur les informations à caractère géographique déjà existantes, par la réalisation d'une carte globale de vulnérabilité du sous bassin versant de l'oued Bouguedfine au phénomène érosif en tenant compte les facteurs physico climatiques, responsables de l'érosion hydrique, tels que la pente, la pluviométrie, la lithologie, l'exposition des versants, l'occupation du sol ainsi que sa nature, en se basant sur l'analyse détaillée de la zone d'étude pour l'élaboration de la base de données. Les sites sensibles sont classés en 05 catégories, de la plus à la moins sensible, une stratégie d'intervention dans le sous bassin versant de l'oued Bouguedfine est contribué (aménagement des cours d'eau et conservation des terrains en pente), en proposant un ensemble de techniques de protection.

Mots-clés : Plan d'Aménagement de Protection, SIG, érosion hydrique, Sous bassin de l'oued Bouguedfine, Algérie.

1. Introduction

Dans le monde entier, l'érosion hydrique des sols constitue une grave menace, diminuant la fonctionnalité écologique et la capacité de production alimentaire et causant des dommages répétitifs sur les infrastructures (Boardman, 1998; Trimble et Crosson, 2000; Valentin et al., 2005). Dans les pays méditerranéens de climat semi-aride, l'érosion des sols constitue un grave problème environnemental agricole et social qui affecte et menace d'immenses espaces (Lopez-Bermudez et Rognon, 1996). L'érosion hydrique et la dégradation des ressources en sols sont alors des phénomènes spatio-temporelles très importants (Fistikoglu et Harmancioglu, 2002; Hoyos, 2005; Pandey et al., 2009). Les sols sont de plus en plus exposés à ce phénomène causé principalement par les pratiques agricoles inadaptées, la déforestation, le surpâturage, les incendies de forêt et les activités de construction (Terranova et al., 2009). Les pluies de courte durée et de forte intensité, le relief jeune et le couvert végétal insuffisant, font que l'érosion des bassins versants est importante en Algérie, elle continue à prendre des proportions considérables, d'après Chebbani et al. (1999), 45 % des zones telliennes, soit 12 millions d'hectares, sont menacées. La demande en forte croissance de l'eau, sa répartition inégale, sa disponibilité limitée et la perte des capacités des barrages par leurs envasements continus est considérée comme un problème crucial à l'échelle nationale (Boudjadja et al., 2003).

De part son taux spécifique à l'érosion supérieur à 200 T/Km²/an, et sa turbidité comprise entre 16 et 28 g/l, le bassin versant de oued Sly, dont le sous bassin versant de oued Bouguedfine fait partie (Fig.1), occupe la

du barrage de Sidi Yâakoub.

1.1. Climatologie

Le sous bassin versant de l'oued Bouguedfine est caractérisé par une saison froide, qui s'échelonne sur 06 mois allant de novembre à avril, avec un maximum de précipitations de 46,62 mm marqué pendant le mois de novembre. Le mois le moins arrosé est le mois d'août avec 4,71 mm.

Pour la température, les moyennes mensuelles varient de 10,86 à 17,26°C et les minimums absolus sont inférieurs à 03°C. La saison chaude s'étale sur 06 mois (de mai à octobre), pendant laquelle les moyennes mensuelles dépassent les 30°C, avec un maximum en juillet (30,55°C). Le mois le plus sec est le mois d'août avec un maxima de 37,77°C et un minima de 22,20°C. La température moyenne annuelle de la zone étudiée est de 20,06°C (ONM, 2011).

1.2. Topographie

Le sous bassin versant de Bouguedfine couvre une superficie de 57,39 km², avec un périmètre de 44,79 km. Le point culminant dans le bassin versant est le sommet de Djebel Sâadia (1192 m), et le point le plus bas est à l'embouchure (la digue) à environ 192 m, la dénivellée maximale du S/BV atteint les 1000 m. Pour mieux représenter l'altimétrie de la zone d'étude, la figure 2 présente la répartition des classes d'altitudes, 30 % de la surface totale du S/BV a une altitude de 400 à 700 m, ce qui permet la présence de pente favorisant l'érosion.

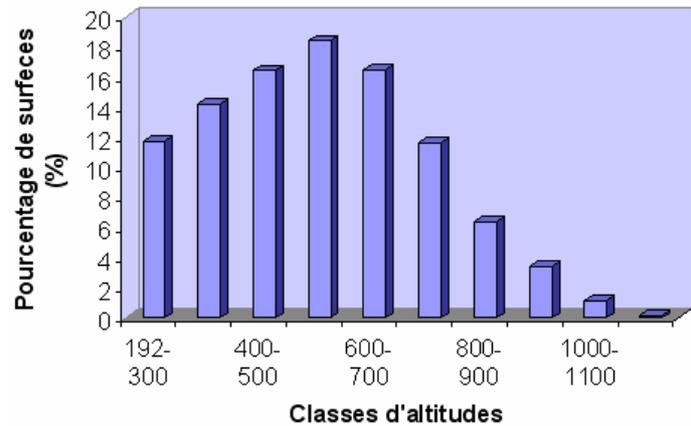


Figure 2- Répartition des classes d'altitude du sous bassin versant de l'oued Bouguedfine.

1.3. Hydrographie

Le Réseau hydrographique de la zone d'étude est plus ou moins dense (Fig. 3). La concentration de l'eau à la surface du sol fait apparaître des rigoles, au niveau de ces dernières les filets d'eau atteignent un pouvoir érosif suffisant pour creuser le sol et aboutissent à la formation des ravines, puis à des ravins profonds à berges escarpées atteignant une profondeur de 2 m (CDF, 2006).

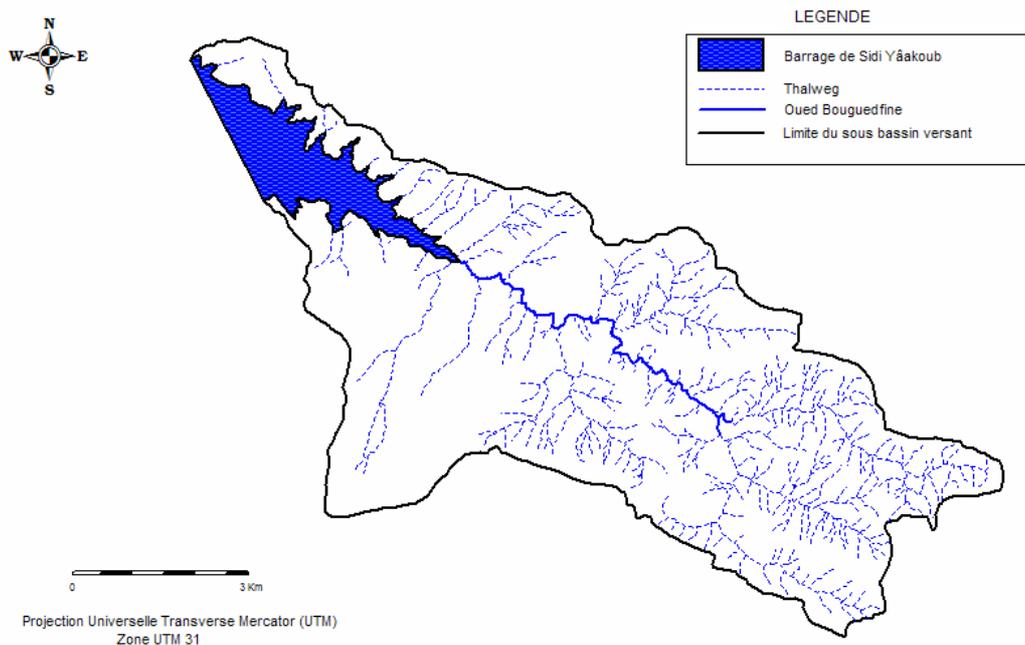


Fig. 3- Carte de l'hydrographie du S/BV de l'oued Bouguedfine.

1.4. Nature du sol

Lescomplekt (1983) dénote que la plupart des sols de la région sont caractérisés par la présence de carbonates et la saturation du complexe absorbant par les cations de Calcium et Magnésium. La figure 4 montre que la zone étudiée a une pédologie très hétérogène, marquée par la dominance des sols peu évolués (Lescomplekt, 1983 modifiée).

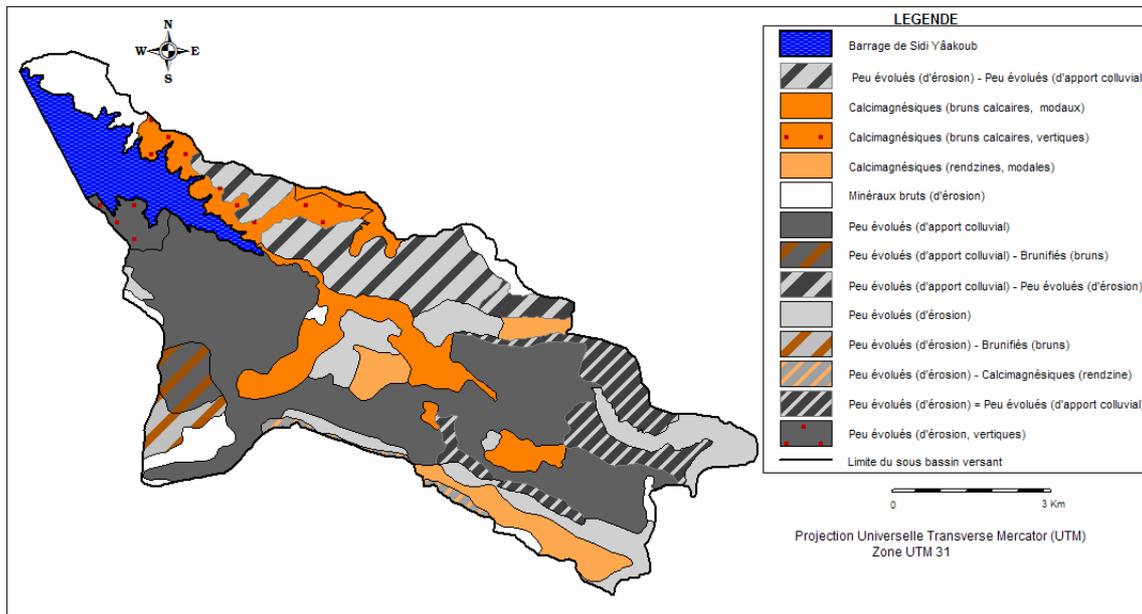


Fig. 4 - Carte de la nature du sol du S/BV de l'oued Bouguedfine (Lescomplekt, 1983 modifiée).

La présence de ces carbonates est déterminée par les matériaux constituant du sol représentés presque exclusivement par des roches calcaires, des calcaires sablonneux et sablonneux argileux et des marnes calcaires. La texture est le plus souvent fine (argilo-limoneuse, argilo-sablonneuse et argileuse). La perméabilité est faible, et les matières organiques dans le sol de la région sont insuffisantes, se qui permet le détachement et le charriage des particules déclenchant ainsi le phénomène d'érosion hydrique.

1.5. Lithologie

Le caractère lithologique de la roche mère est un paramètre important dans le contrôle de la percolation des précipitations et du ruissellement. Plusieurs auteurs l'utilise pour la détermination des propriétés de recharge (Seelman, 1983; Ibrahim et Ammar, 2000). Le S/BV de l'oued Bouguedfine est situé dans l'ensemble structuro-sédimentaire de l'Atlas tellien Algérien. Les lithologies ont été regroupées en 04 classes sur la carte lithologique simplifiée (Fig. 5): calcaire marneux, grès calcaire ou marneux, flysch et molasse et les dépôts meubles à texture moyenne.

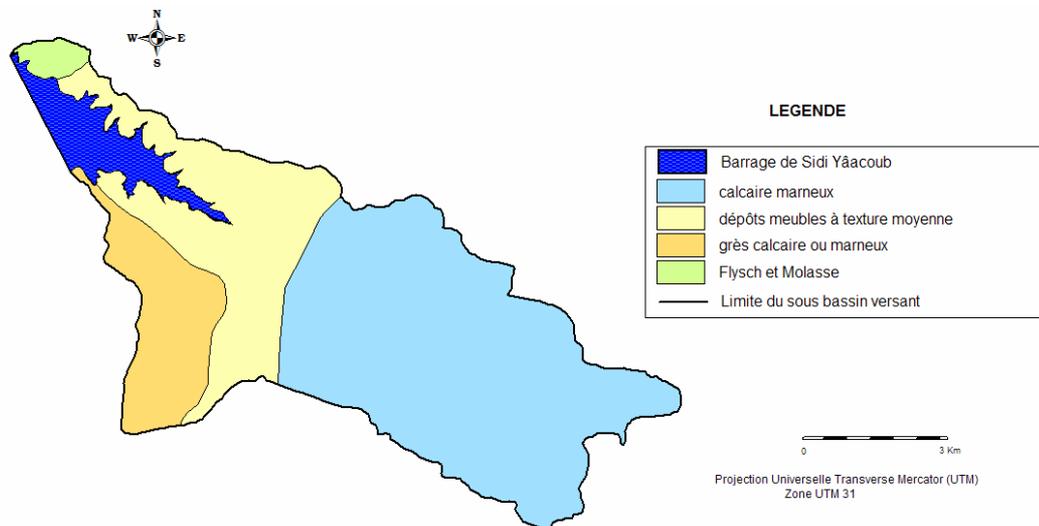


Fig. 5- Carte lithologique du S/BV de l'oued Bouguedfine (Lescomplekt, 1983, modifiée)

Plus de 58% de la surface totale du S/BV est formée par les calcaires marneux. Les sols de la zone marneuse sont susceptibles au ruissellement et au ravinement. La caractérisation des sols sur marne montre qu'ils sont faibles en matière organique, sensibles à la battance, d'où la naissance du ruissellement et de la dégradation du sol.

1.6. Occupation du sol

Le couvert végétal est un paramètre important qui affecte la dynamique du phénomène érosif (Poesen et Hooke, 1997), il assure une protection du sol (Vrieling, 2006) par la réduction de l'érosion hydrique (Greenland, 1996; Garcia-Ruiz et al, 1996). La sensibilité du sol à l'érosion est inversement proportionnelle à la couverture végétale, mais directement proportionnelle à la pente et à la densité de drainage (Bou Kheir et al, 2006).

L'occupation des sols dans le S/BV de l'oued Bouguedfine a été analysée suite à l'interprétation de deux images satellites Landsat 7 ETM⁺ de mars 2002, et celle de Alsat 1 mars 2007, fourni par l'Agence spatiale Algérienne, ce qui nous a permis d'élaborer la carte «occupation du sol» (Fig. 6).

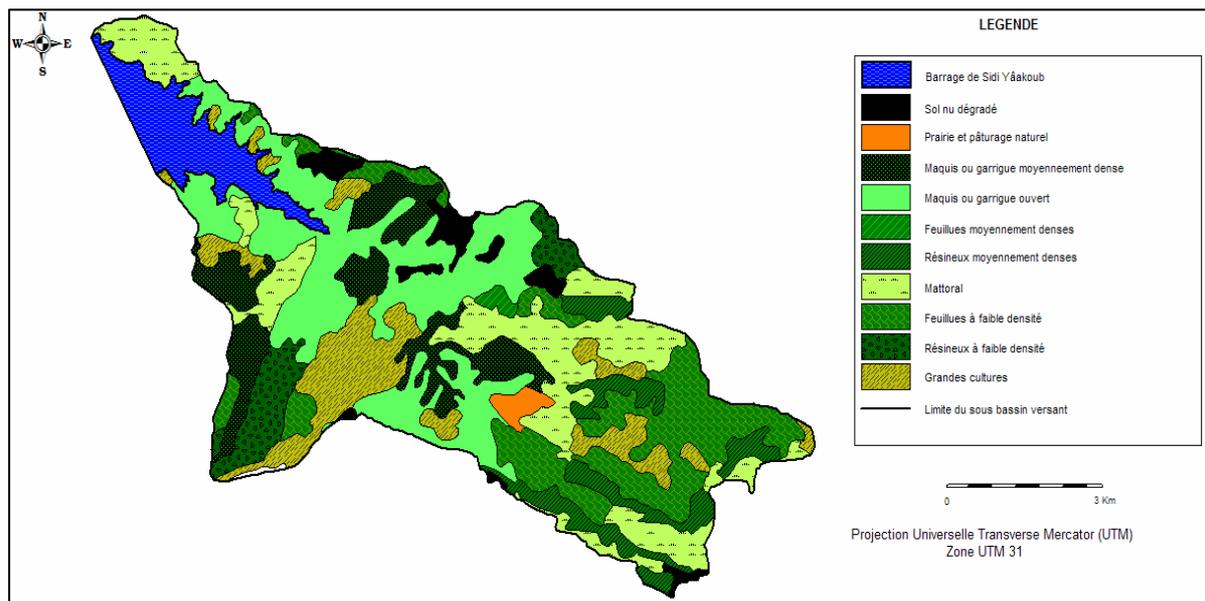


Fig. 6- Carte d'occupation du sol du S/BV de l'oued Bouguedfine.

Le S/BV de l'oued Bouguedfine est couvert à 37% par des maquis ne laissant habituellement place aux massifs forestiers que sur les sommets les plus élevés, qui se localisent essentiellement au sud et sud ouest de la zone d'étude, et sur les hautes altitudes de djebel Sâadia. Les forêts sont généralement formées de résineux (Pin d'Alep), et une petite portion de feuillues (chêne liège et chêne vert à hautes altitudes). Les maquis sont composés à base de lentisques, genévrier rouge, jujubier, olivier sauvage, palmier nain, et d'autres espèces en associations. 12% de la superficie du S/BV est utilisée pour l'agriculture intensive, en l'occurrence les grandes cultures céréalières et fourragères, et ceux dans la partie nord, près du lac du barrage de Sidi Yâakoub.

2. Démarche adoptée

L'érosion hydrique, due à la combinaison de plusieurs facteurs, accentue la dégradation des sols et provoque des dommages sérieux et coûteux sur les infrastructures hydrauliques en raison de l'envasement des barrages. L'émergence de nouveaux modèles d'analyse a permis d'étudier le phénomène d'érosion des sols, à des fins conservatoires, efficaces et avec un niveau de précision acceptable (Prasannakumar et al, 2012). Les informations spatiales et quantitatives sur l'érosion des sols contribuent de manière significative à la conservation, la planification des sols et la lutte contre l'érosion. Les facteurs influant sur le processus de l'érosion hydrique peuvent être représentés par des paramètres différents (Bou Kheir et al, 2008).

De nombreux modèles existent pour évaluer les risques d'érosion (Wischmeier and Smith, 1958 ; Bonn et al., 1994 ; Kirkby, 1995 ; Thornes et al., 1996 ; De Jong and Riezebos, 1997 ; Quinton, 1997 ; Ozden and Ozden, 1958 in Boukheir et al., 2001). On s'est basé dans cet article sur les facteurs classiques (Wischmeier and Smith, 1958 in Boukheir et al., 2001) qui ont été adaptés aux conditions spécifiques de la région d'étude.

Les facteurs que l'on a retenus pour la région d'étude sont les suivants : la pente, l'exposition des versants, la lithologie, la nature du sol, l'intensité des pluies et le couvert végétal. Le risque de chaque facteur est estimé afin d'élaborer des cartes de vulnérabilité des sols à l'érosion.

2.1 Carte de vulnérabilité selon la pente

La pente est un facteur très important qui influence sur le degré d'érosion (Prasannakumar et al, 2012), les sols à pente importante sont plus vulnérables à l'érosion que d'autres, en tenant compte de la combinaison avec d'autres facteurs, cinq classes principales de pentes ont été distinguées. Le tableau 1 détermine la sensibilité du sol vis-à-vis l'inclinaison du terrain.

Table1- Classes de sensibilité à l'érosion selon la pente

<i>Pente (%)</i>	<i>Sensibilité</i>	<i>Poids</i>	<i>Surfaces (Km²)</i>	<i>Pourcentage (%)</i>
< 02	Très faible	0	0,33	0,58
02 à 08	Faible	1	5,97	10,40
08 à 15	Moyenne	2	20,04	34,92
15 à 30	Forte	3	22,79	39,71
> 30	Très forte	4	8,26	14,39

La figure 7 illustre les pentes où le risque est considéré comme moyen à fort, elles occupent la plus grande partie de la superficie totale du S/BV avec des proportions de 34,92% et 39,71%, les pentes à risque très fort couvrent 14,39 %.

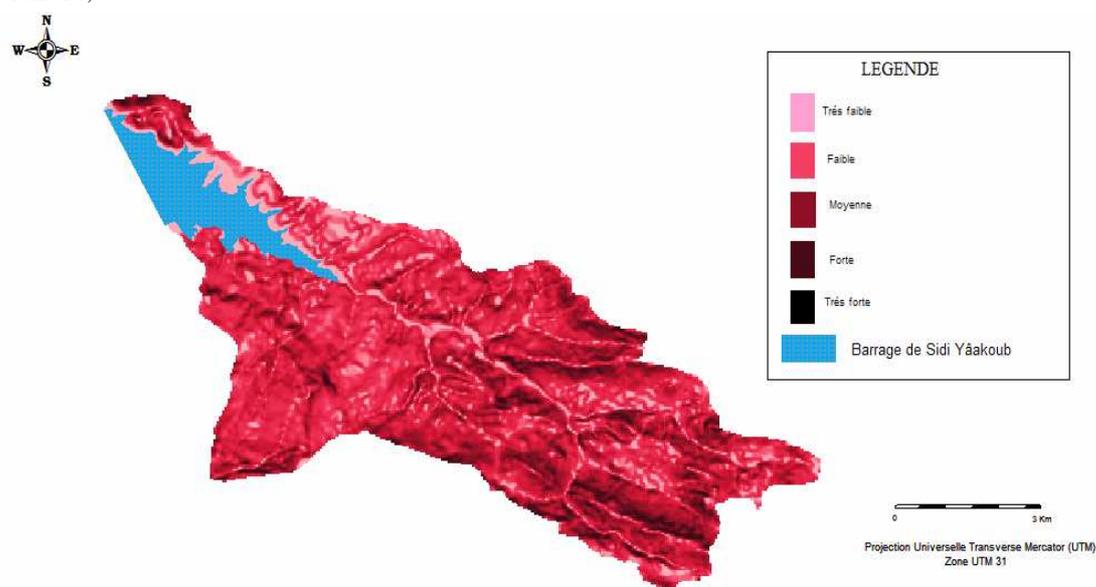


Fig. 7- Carte de sensibilité à l'érosion selon la pente

2.2. Carte de vulnérabilité selon l'exposition des versants

L'exposition des versants intervient dans l'érosion, car les versants les plus arrosés seront les plus érodés en tenant pas compte du facteur « occupation du sol » car le couvert végétal naturel joue un rôle important dans la réduction de l'érosion hydrique (Bou Kheir et al, 2008). Le tableau 2 illustre les différentes expositions et les poids attribués pour chacune.

Tab. 2- Classes de sensibilité à l'érosion selon l'exposition.

Exposition	Sensibilité	Poids	Surfaces (Km²)	Pourcentage (%)
Nord	Forte	3	12,9	22,48
Nord-est	Faible	1	06,36	11,08
Est	Moyenne	2	03,03	05,28
Sud-est	Faible	1	04,11	07,17
Sud	Faible	1	08,86	15,44
Sud-ouest	Très forte	4	06,68	11,64
Ouest	Très forte	4	05,70	9,94
Nord-ouest	Forte	3	09,73	16,95

Selon la figure 8, les expositions : Ouest, Sud-Ouest, Nord et Nord-Ouest ont des risques fort et très fort aggravants la dégradation du terrain. La surface occupée par ces expositions est de 35,01 Km², elle représente 61,01 % de la surface totale du S/BV.

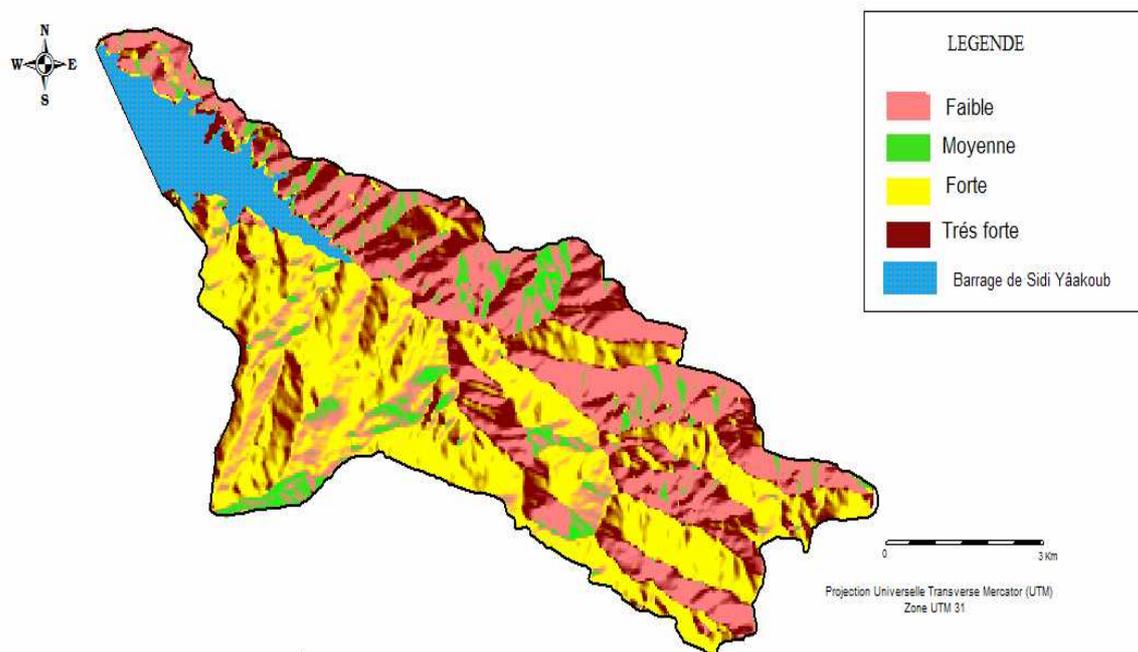


Fig. 8- Carte de sensibilité à l'érosion selon l'exposition

2.3. Carte de vulnérabilité selon la répartition des pluies

La pluie est un facteur à ne pas négliger, car celle de forte intensité et de courte durée accélère le phénomène érosif. En Algérie, sur des parcelles peu couvertes, pendant les orages d'automne, le ruissellement journalier maximal a dépassé 19 à 32 % et jusqu'à 70-85 % des averses importantes en hiver, sur des sols détrempeés (Arabi et Roose., 1989). Durant le reste de l'année sévit une période sèche. Ces averses de fréquence rare tombant sur des sols déjà saturés et de faible épaisseur sont à l'origine de la formation des ravines, de l'apparition des mouvements de masse et d'inondations (Roose et De Noni, 1998). Le manque de données concernant ce facteur nous a obligés de se baser sur la répartition des quantités de pluie sur le S/BV. Nous avons distingué, à partir de la carte pluviométrique cinq classes de pluies équidistantes de 100 mm. Le tableau 3 présente les classes de sensibilité selon la répartition des pluies.

Tab. 3- Classes de sensibilité à l'érosion selon la répartition des pluies

Précipitation (mm)	Sensibilité	Poids	Surface (Km ²)
< 200	Très faible	0	12,13
200 – 300	Faible	1	18,68
300 – 400	Moyenne	2	07,24
400 – 500	Forte	3	13,93
> 500	Très forte	4	5,41

Selon la figure 9, les zones touchées par l'érosion sont celles qui ont la quantité des pluies la plus importante.

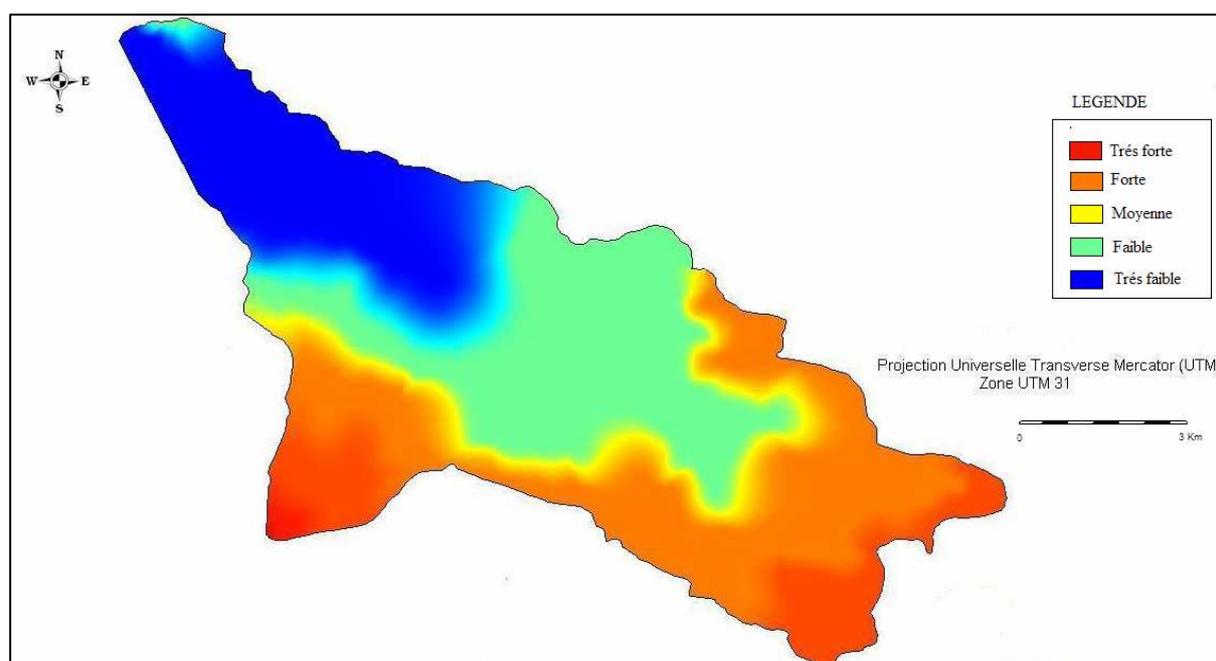


Fig. 9- Carte de vulnérabilité selon la répartition des pluies

2.4. Carte de vulnérabilité selon la nature du sol

Ce facteur est très complexe, il a une très grande influence sur l'état du terrain, car l'érosion est fortement liée à la texture, structure et la profondeur du sol (Boukheir et al, 2008), ainsi qu'à la nature de la roche mère. Chaque type de sol a une texture et structure caractéristique, d'où le risque est variable d'un type à l'autre, le tableau 4 indique la vulnérabilité de chaque type de sol à l'érosion

Tab. 4 : Classe de sensibilité à l'érosion selon la nature du sol

Type de sol	Sensibilité	Poids	Surfaces (Km ²)
Sols peu évolués (d'érosion, vertiques)	Très forte	4	0,85
Sols calcimagnésiques (bruns calcaires, vertiques)	Faible	1	2,25
Sols minéraux bruts (d'érosion)	Forte	3	3,72
Sols peu évolués (d'apport colluvial) _Sols brunifiés (bruns)	Moyenne	2	1,21
Sols calcimagnésiques (rendzines, modales)	Moyenne	2	3,14
Sols peu évolués (d'apport colluvial)	Très forte	4	18,32
Sols peu évolués (d'érosion) – Sols calcimagnésiques (rendzine)	Forte	3	0,48
Sols calcimagnésiques (bruns calcaires, modaux)	Faible	1	5,08
Sols peu évolués (d'apport colluvial) - Sols peu évolués (d'érosion)	Très forte	4	0,77
Sols peu évolués (d'érosion) - Sols brunifiés (bruns)	Moyenne	2	0,9
Sols peu évolués (d'érosion) - Sols peu évolués (d'apport colluvial)	Très forte	4	5,92
Sols peu évolués (d'érosion) = Sols peu évolués (d'apport colluvial)	Très forte	4	4,23
Sol peu évolué (d'érosion)	Très forte	4	6,42

Les sols peu évolués sont les plus sensibles au phénomène érosif (Fig. 10), ils occupent la plus grande partie (36,51 Km²), avec une portion de 63% de la surface du S/BV. Les sols calcimagnésiques sont les plus résistants à l'érosion, ils occupent 18 % de la surface globale.

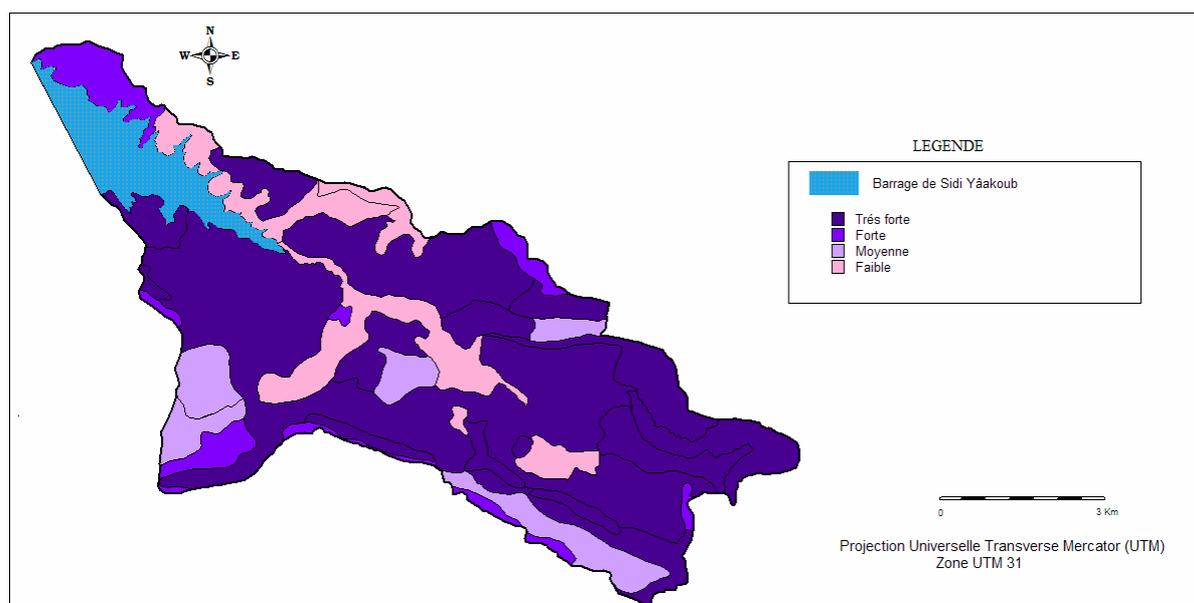


Fig. 10- Carte de sensibilité à l'érosion selon la nature du sol

2.5. Carte de vulnérabilité selon la lithologie

La lithologie a une très grande influence sur le phénomène érosif, car la désagrégation, l'altération et le transport de matériau sont étroitement liés à la cohérence (Amokrane, 1989). Elle est un paramètre important dans le contrôle du ruissellement (Boukheir et al, 2008). Les divers types de roches et leurs structures donnent une indication précieuse sur la capacité d'infiltration des zones occupées par les roches et par les sols et en conséquence sur la quantité de sol susceptible d'être érodée (FAO, 1980 ; Demmak, 1982). Les sols marneux lorsqu'ils sont secs, restent non érodibles mais, dès qu'ils atteignent une certaine humidité, leur sensibilité à la détachabilité et au ruissellement augmente (Chebbani et al., 1999). Les argiles, les marnes, les schistes, les basaltes et les gneiss sont très vulnérables au ravinement (Roose, 1994). Pour le cas étudié, chaque type lithologique est accompagné par un degré de sensibilité à l'érosion (Tab. 5).

Tab. 5 : Classes de sensibilité à l'érosion selon la lithologie.

Type lithologique	Sensibilité	Poids	Surfaces (Km ²)	Pourcentages (%)
Flysch et Molasse	Forte	3	0,97	1,81
Dépôt meubles à texture moyenne	Très forte	4	13,76	25,74
Grès calcaire ou marneux	Faible	1	7,38	13,80
Calcaire marneux	Forte	3	31,37	58,65

Pour le cas étudié (Fig. 11), le dépôt meuble à texture moyenne, Flysch et Molasse et Grès calcaire ou marneux ont une forte à très forte sensibilité à l'érosion, ils occupent respectivement les surfaces : 13,76, 0,97 et 7,38 Km², alors que le grès calcaire est la formation la plus résistante à ce phénomène avec une superficie de 7,38 Km².

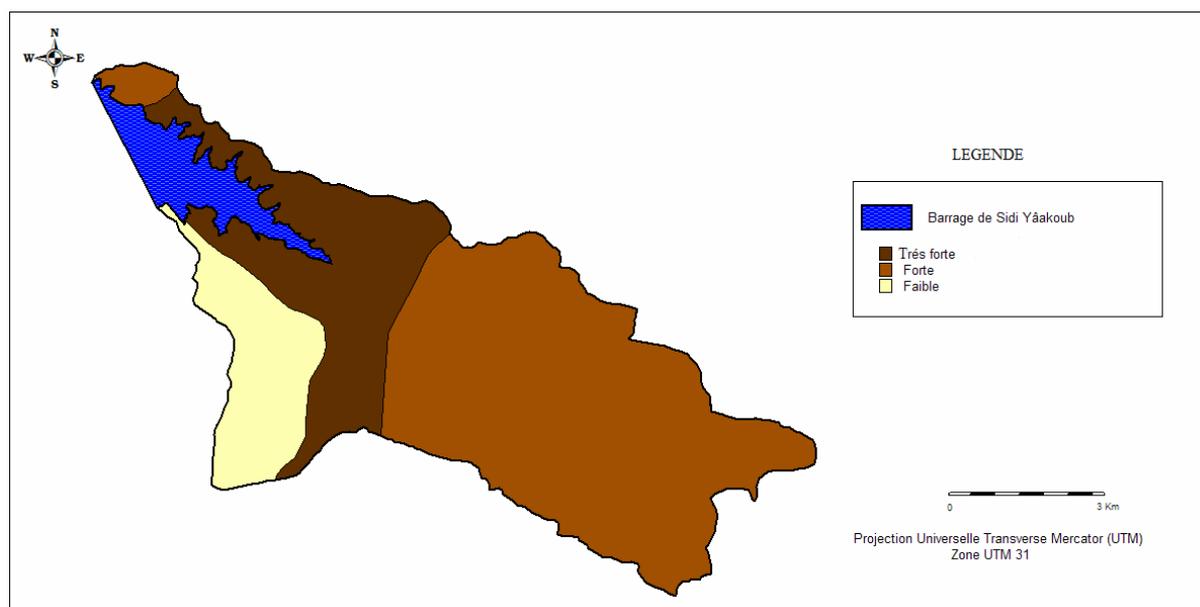


Fig. 11- Carte de sensibilité à l'érosion selon la lithologie

2.6. Carte de vulnérabilité selon l'occupation du sol

L'érosion hydrique atteint son maximum lorsque les sols sont nus et conservés sans protection contre la pluie (Greenland, 1996; Garcia-Ruiz et al., 1996). Un sol soumis au pâturage intensif se tasse, devient plus compact, sa perméabilité diminue et le ruissellement de l'eau s'accroît, ce qui entraîne des pertes de terres considérables. Ce fort ruissellement aboutit à la formation de profondes ravines lorsqu'il atteint des terres cultivées (Laouina et al., 2000). La vulnérabilité de chaque type de formation est représentée par un poids et un degré de sensibilité dans le tableau 6.

Tab. 6- Classes de sensibilité à l'érosion selon l'occupation du sol.

<i>Occupation du sol</i>	<i>Surface (Km²)</i>	<i>Pourcentages (%)</i>	<i>Poids</i>	<i>Sensibilité</i>
Lac du barrage	4,07	07,09	0	Nulle
Sol nu dégradé	1,77	03,34	4	Très forte
Prairie et pâturage naturel	0,52	0,98	1	Faible
Grandes cultures	6,52	12,25	3	Forte
Maquis ou garigue moyennement dense	5,98	11,22	1	Faible
Maquis ou garigue ouvert	13,25	24,90	2	Moyenne
Feuillus moyennement denses	0,26	0,49	2	Moyenne
Résineux de faible densité	2,6	04,88	3	Forte
Feuillus de faible densité	8,77	16,47	3	Forte
Résineux moyennement denses	3,92	07,37	2	Moyenne
Mattoral	9,64	18,10	1	Faible

Les sols nus dégradés est le groupe le plus vulnérable à l'érosion, il occupe une superficie de 1,77 Km², suivi par les terres agricoles, qui occupent 6,52 Km², les formations qui résistent mieux à l'érosion sont les prairies et pâturage naturel, les maquis ou garigues ainsi que les matorrals, ils couvrent respectivement 0,52 Km², 5,98 et 9,64 Km² (Fig. 12).

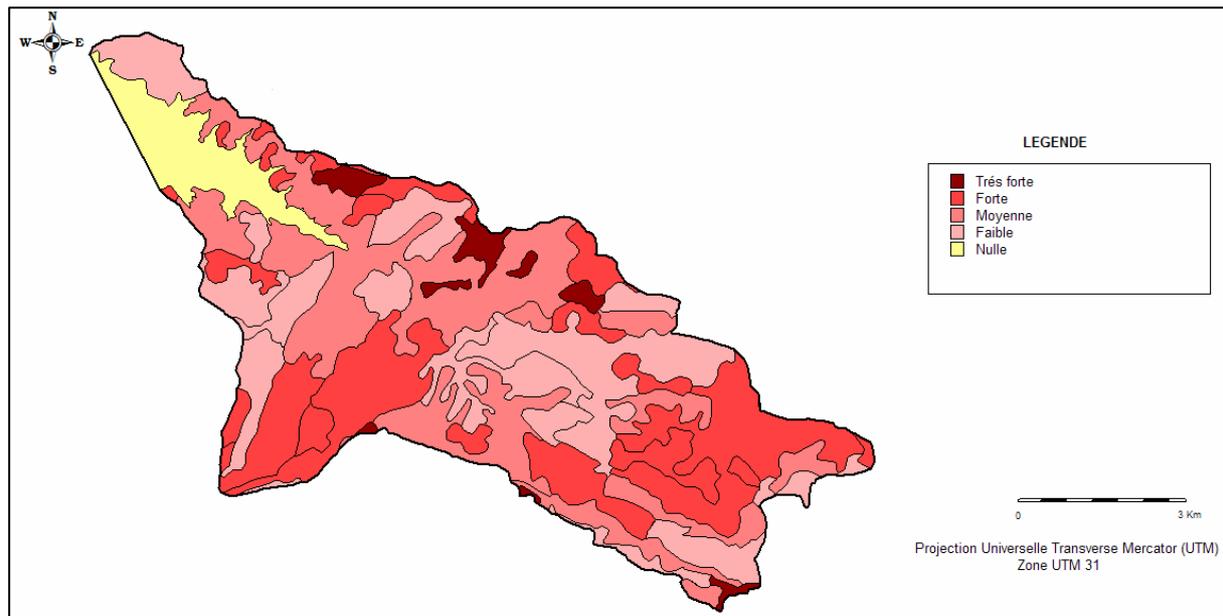


Fig. 12- Carte de sensibilité à l'érosion selon l'occupation du sol.

Les cartes ainsi obtenues seront superposées, un degré d'influence de chaque facteur vis-à-vis le phénomène érosif (pondération) sera pris en considération.

3. Elaboration de la carte de vulnérabilité globale

Un des principaux problèmes que posent les modèles qui se basent sur des facteurs d'érosion est d'estimer les pondérations (Boukheir et al, 2008). La description de l'effet de chaque paramètre dépend principalement de son influence sur le processus érosif. En se basant sur les modèles développés par (Le Bissonnais, 2003) et (Bou Kheir et al 2008), six facteurs sont pris en considération pour construire la carte de vulnérabilité à l'érosion de la zone étudiée, à savoir : la pente (Fig.7), l'exposition des versants (Fig. 8), la répartition des pluies (Fig. 9), la nature du sol (Fig. 10), la lithologie (Fig. 11) et l'occupation du sol (Fig. 12). Par conséquent, on a retenu les poids allant de 0 à 4, respectivement pour les très faibles à très fortes sensibilités du sol à l'érosion, pour les 06 facteurs étudiés (Fig. 13).

Les paramètres considérés n'ont pas le même effet sur l'érosion et l'estimation de leur poids n'est pas une tâche facile. La pente est considérée comme le moteur de l'érosion, dès qu'elle est suffisante pour permettre à l'eau de ruisseler, le terrain est vulnérable à l'érosion hydrique, le poids de ce paramètre est de 4. En fonction de l'occupation et de la nature du sol, la sensibilité à l'érosion hydrique varie d'une manière importante c'est pour cette raison qu'on a attribué un poids de 3 à ces paramètres. L'influence de la lithologie est essentielle pour l'ensemble de la région étudiée, on lui a donc donné un poids de 2. La répartition spatiale du ruissellement est contrôlée par celle des précipitations, un poids de 2 est attribué à ce paramètre. Un poids de 1 est donné pour l'exposition des versants.

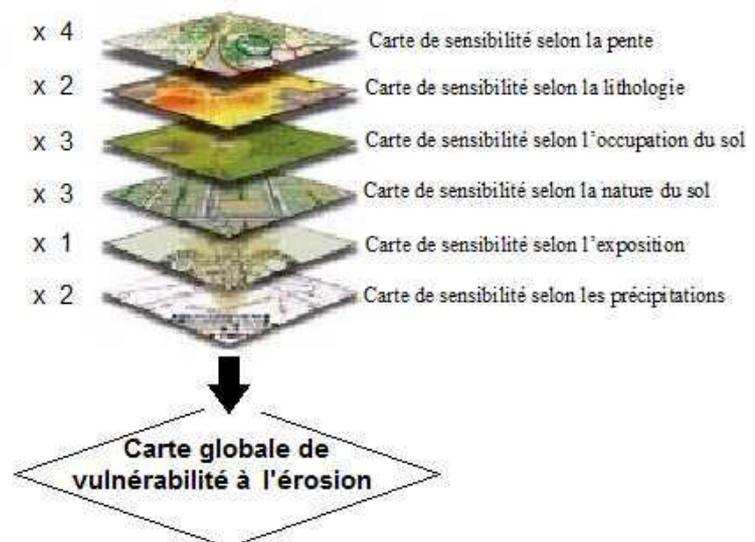


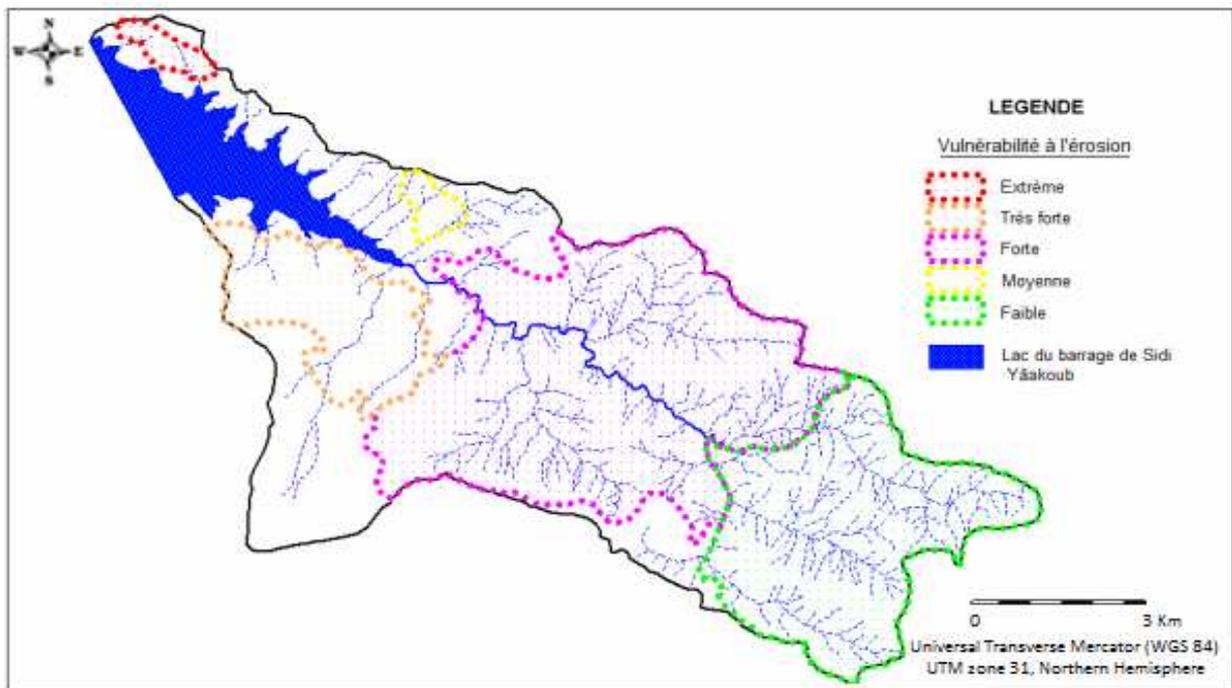
Fig. 13- Les pondérations utilisées pour l'ensemble des couches

L'intégration des différents facteurs dans un SIG nous a permis de produire les diverses cartes thématiques correspondant aux divers facteurs. Ainsi, par l'effet cumulé de ces facteurs, la sensibilité potentielle à l'érosion de la zone considérée est transformée en cinq classes de risque données dans le tableau 7.

Tab. 7- Classes des risques d'érosion

<i>Sensibilité</i>	<i>Poids</i>	<i>Surface (Km2)</i>
Risque très faible	0	12,30
Risque faible	1	20,47
Risque moyen	2	0,6125
Risque élevé	3	5,38
Risque très élevé	4	0,614

La carte de sensibilité de la zone au phénomène d'érosion hydrique des sols est obtenue à partir de la combinaison des cartes thématiques précédentes, dont le but est de faire ressortir les zones vulnérables au phénomène érosif, afin de proposer un Plan d'Aménagement de Protection pour le S/BV de l'oued Bouguedfine. A partir des pondérations estimées, la carte de sensibilité de la zone au phénomène d'érosion hydrique des sols est obtenue (Fig. 14).

**Fig. 14-** Carte globale de sensibilité à l'érosion du sous bassin versant de l'oued Bouguedfine.

4. Stratégie d'intervention dans le sous bassin versant de l'Oued Bouguedfine

Les méthodes de lutte de cette stratégie seront différentes selon qu'il s'agit de protéger des parcelles ou d'aménager des espaces relativement vastes. Il est important de souligner qu'une technique n'exclut pas les autres et qu'au contraire, il faut tenter de trouver la meilleure combinaison possible de techniques selon les moyens disponibles. Le plan d'aménagement de protection « P.A.P » est conçu de manière à identifier les priorités d'intervention dans les zones les plus affectées par l'érosion. Pour ce faire, la carte globale consolidée de sensibilité à l'érosion a été examinée et un ensemble de techniques d'aménagement a été proposé (Fig. 15).

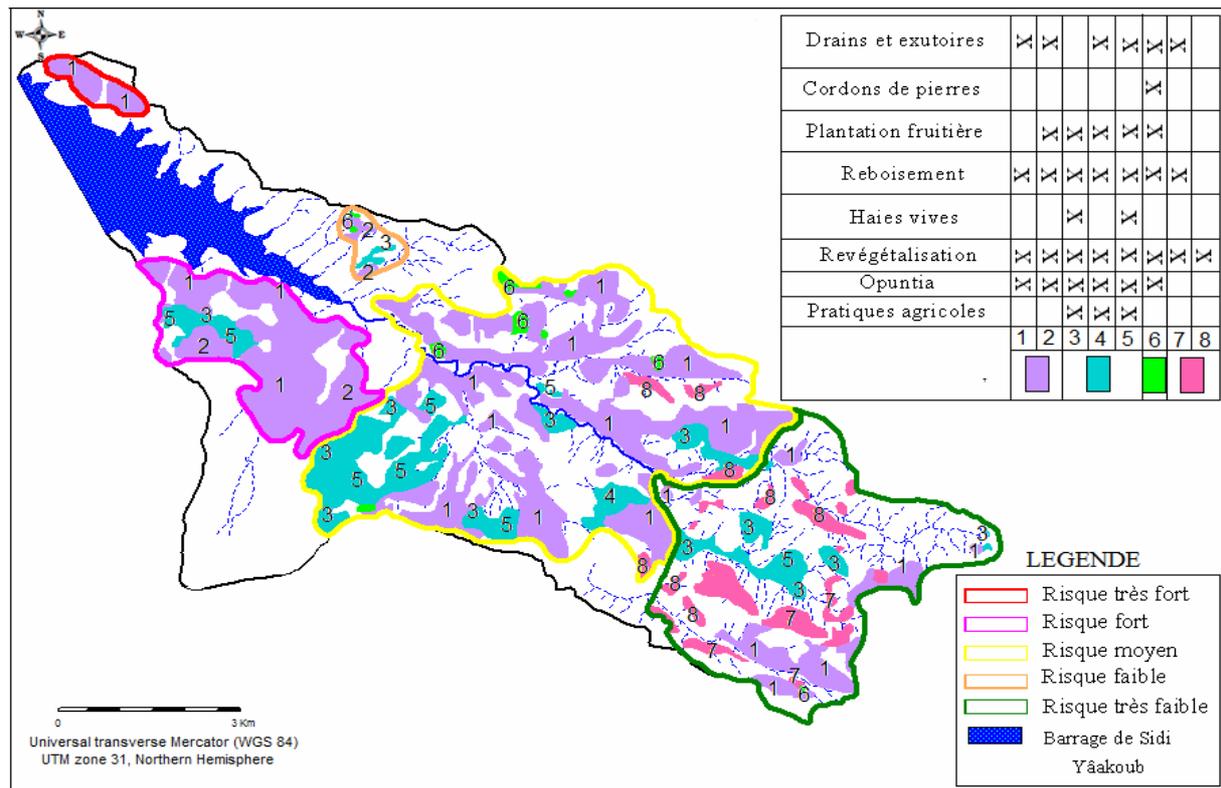


Fig. 15- Proposition du Plan d'Aménagement de Protection "P.A.P" pour le sous bassin versant de l'oued Bouguedfine.

Les techniques proposées pour l'aménagement du sous bassin versant des Bouguedfine se reposent essentiellement sur l'aménagement des cours d'eau et la conservation des terrains en pente.

4.1. Aménagement des cours d'eau

a) Fixation des berges

Ce type d'intervention se base essentiellement sur 02 méthodes : fixation mécanique et biologique. Pour la protection des berges affectées par l'érosion ou le début de sapement, on propose l'utilisation de deux techniques de protection :

- Epis : Sont des ouvrages transversaux ayant pour objectif la déviation de la ligne d'eau et la concentration du courant au milieu du lit de l'oued, ils permettent la protection des berges en évitant leur sapement dans les sinuosités.
- Dignes longitudinales : Ce type d'ouvrage consiste à appliquer contre le talus un revêtement inaffouillable et rigide, ce dernier sera réalisé par l'emploi de gabion qui assure une protection au talus (Abdelbaki, 2007).

La lutte mécanique nécessite une fixation biologique, les talus des berges ainsi que le sommet des ouvrages doivent être revégétalisés. Les espèces recommandées pour la plantation sont : Tamaris (*Tamarix articulata* et *Tamarix gallica*), Laurier (*Nerium oleander*), Peuplier (*Populus alba*) et (*Populus nigra*).

b) Traitement des ravines et thalwegs

En Algérie, le ravinement est un problème sérieux, les aménagements préconisés pour les traiter seront dans le cas du sous bassin de oued Bouguedfine une combinaison d'interventions mécaniques et biologiques. Selon Arabi (2006), les aménagements mécaniques les plus suggérés en Algérie sont principalement des seuils en gabions, en pierres sèches, en sac plastique ou encore en pneus usés. Ces seuils doivent être efficaces, moins coûteux et réalisables avec les populations locales car la prise en compte des expériences des populations locales en matière d'aménagement anti-érosive du milieu constitue à la fois un gage de réussite et une manière de rendre hommage au savoir-faire paysan souvent ignoré par les aménagements modernes importants et coûteux mais éphémères (Bouchetata et Bouchetata., 2006).

L'estimation du choix du type de seuils ainsi que le nombre nécessaire n'est guère possible sans la réalisation d'une prospection détaillée sur le terrain (Abdelbaki, 2007).

Le traitement mécanique est suivi préférentiellement par une installation végétale qui assure une stabilité du sol emprisonné par les seuils. Selon Bouchetata et Bouchetata (2006), les espèces à fort enracinement et à fort pouvoir recouvrant sont envisagées, leur rôle est d'améliorer l'infiltration de l'eau dans le sol et de dissiper l'énergie du ruissellement et sa capacité de transport.

4.2. Conservation des terrains en pente

a) Ouvrage de capture de sédiments

Les ouvrages de capture de sédiments ont pour principe de ralentir la vitesse d'écoulement de l'eau en favorisant la sédimentation des particules en suspension au niveau du cours d'eau principal (Anonyme, 2006). Cependant, il importe d'insister sur l'importance des études de terrain plus exhaustives qui pourront confirmer leur faisabilité au sein de notre zone d'étude.

b) Plantation fruitière

Les arbres fruitiers jouent un rôle de protection du sol tout en apportant un revenu à la population riveraine. Selon Sabir (2002), la plantation et le développement d'arbres fruitiers et agroforestiers permettent d'apporter un soutien aux structures d'aménagement et une plus-value économique. Le choix des essences fruitières doit se faire en fonction des exigences agro-climatiques des espèces et des vœux des riverains. On propose deux types d'installation :

- Plantation d'espèces rustiques : Olivier (*Olea europea* L.), figuier (*Ficus carica* L.), et amandier (*Prunus amygdalus*) ;
- Plantation en irrigué : Poirier (*Pyrus communis* L.), pêcher (*Prunus persica* (L.) BATSCH), prunier (*Prunus domestica* L.) et grenadier (*Punica granatum*).

c) Reboisement

Le reboisement devrait porter sur le choix d'espèces forestières xériques s'adaptant aux conditions édapho-climatiques de notre zone. Cependant une diversification des espèces est souhaitable. On recommande l'installation de : *Acacia cyanophylla*, *Cupressus macrocarpa*, *Pinus halepensis* et *Pinus pinea*.

Le P.A.P développé pour le S/BV d'oued Bouguedfine (Fig. 15) a été conçu avec le souci d'optimiser l'allocation des ressources matérielles, humaines et financières. Par conséquent, des critères précis ont dû être définis dans le but d'assurer et d'améliorer l'efficacité des efforts de réduction de l'envasement du réservoir du barrage de Sidi Yâakoub. Ainsi, le P.A.P est conçu de manière à identifier les priorités d'intervention dans les zones les plus affectées par l'érosion. Pour ce faire, la carte consolidée de l'érosion a été examinée en leur attribuant un degré de sensibilité selon l'influence de chaque facteur intervenant dans l'érosion.

5. Conclusion

L'occupation du sol et sa nature, la lithologie, la pente, l'exposition des versants ainsi que la répartition des pluies sont les facteurs jugés influençant la dégradation de l'état du sol. L'analyse de ces facteurs sous SIG, nous a permis de ressortir la carte globale de vulnérabilité de la zone à l'érosion. Les sites sensibles ont été classés en 05 catégories, de la plus à la moins sensible. Les zones les plus sensibles sont les plus proches du lac du barrage de Sidi Yâakoub. Une stratégie d'intervention dans le sous bassin versant de l'oued Bouguedfine est contribué en proposant un ensemble de techniques de protection.

Le plan d'aménagement de protection proposé pour le sous bassin versant en question nécessite des interventions sur plus de 57 km² de lutte anti-érosive de divers types (pratiques agricoles, reboisements, plantations fruitières, correction torrentielle, drains et exutoires, revégétalisation, etc.). Ces interventions font l'objet d'une dizaine de combinaison de techniques de protection. Il importe de noter que la majeure partie des zones à aménager nécessite l'implantation des seuils pour contrer le ravinement. Par ailleurs, presque toutes les zones du sous bassin nécessitent des drains et exutoires afin de faciliter l'évacuation des eaux du ruissellement vers l'oued.

Enfin, les résultats obtenus pour le sous bassin versant de l'oued Bouguedfine pourraient être extrapolées 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 sous bassin étudié, mais dans tous les bassins versants en Algérie.

References

1. Abdelbaki A., 2007. Mise en place d'un Système d'Information Géographique pour l'élaboration d'un plan d'aménagement de protection - Cas du sous bassin versant de l'oued Bouguedfine -B/V Zahrez – Chlef. Projet de Fin d'études, ENSA, Alger, Algérie
2. Amokrane F., 1989. Analyse d'un aménagement de conservation des sols dans le massif de l'Ouarsenis (BV d'oued Sly) en Algérie, et proposition pour le futur. DEA Fédéral, géomorphologie et dynamique des milieux physiques. Université de Paris I, Ponthéon-Sorbonne, 37p.
3. CDF (Conservation des forêts), 2006. Etude de protection du bassin versant du barrage de Sidi Yâakoub, Rapport interne, 110 p.
4. Arabi M. et Roose E., 1989. Influence de quatre systèmes de production méditerranéenne de moyenne montagne algérienne. *Bulletin Réseau érosion*, 9 : 39 - 51.
5. Arabi M., 2006. Aménagement anti-érosif sur petits bassins versants expérimentaux en milieu semi aride algérien. *Annales de géomorphologie*, 50 (2): 209 – 220.
6. Bancy M Mati, Royston P C Morgan, Francis N Gichuk, John N Quintor, Tim R Brewer, Hans P Boardman J., 1998. An average soil erosion rate for Europe: Myth or reality. *Journal of Soil and Water Conservation*, 53: 46-50.
7. Beskow S., Mello C.R., Norton L.D., Curi N., Viola M.R., Avanzi J.C., 2009. Soil erosion prediction in the Grande River Basin Brazil using distributed modeling. *Catena*, 79 : 49–59.
8. Bouchetata A., Bouchetata T., 2006. Propositions d'aménagement du sous-bassin-versant de l'oued Fergoug (Algérie) fragilisé par des épisodes de sécheresse et soumis à l'érosion hydrique. *Sécheresse*, 17 (3) : 415 - 424.
9. Boudjadja A., Messahel M., Pauc H., 2003. Ressources hydriques en Algérie du nord. *Revue des sciences de l'eau*, 16 (3) : 285 - 304.
10. Boukheir R., Girard M. C., Shaban A., Khawlie M., Faour G. Darwich T., 2001. Apport de la télédétection pour la modélisation de l'érosion hydrique des sols dans la région côtière du Liban. *Télédétection*, 2 (2): 79 – 90.
11. Boukheir R., Cerdan O., Abdallah C., 2006. Regional soil erosion risk mapping in Lebanon. *Geomorphology*, 82: 347–359.
12. Boukheir R., Abdallah C., Khawlie M., 2008. Assessing soil erosion in Mediterranean karst landscapes of Lebanon using remote sensing and GIS. *Engineering Geology*, 99: 239 -.254.
13. Chebbani R., Djilli K., Roose E., 1999. Etude des risques d'érosion dans le bassin versant de l'Isser-Algérie. *Bulletin Réseau Erosion*, 19: 85 - 95.
14. Cox C. et Madramootoo C., 1998. Application of geographic information systems in watershed management planning in St. Lucia. *Computers and Electronics in Agriculture*, 20 : 229 - 250.
15. Demmak A., 1982. Recherche d'une relation empirique entre les apports solides et les paramètres physico-climatiques des bassins. *AISH*, 144 : 403 - 414.
16. El Hadani D., 1997. Télédétection et système d'information géographique pour la gestion et la recherche de l'eau. Remote Sensing and Geographic Information Systems for Design and Operation of Water Resources Systems (Proceedings of Rabat Symposium S3, April 1997), IAHS Publ. n°242: 197-204
17. FAO, 1980. Conservation des ressources naturelles en zones arides et semi-arides. Cahiers FAO : conservation des sols, Vol. 3, 135 p.
18. Greenland D.J., 1996. Choyez la terre: Aménagement des sols pour une agriculture durable et la protection de l'environnement sous les tropiques. Rome, FAO, 32 p.
19. Jain S.K., Kumar S., Varghese J., 2001. Estimation of soil erosion for a Himalayan watershed using GIS technique. *Water Resources Management*, 15: 41–54.
20. Jebari S., Berndtsson R., Olsson J., Bahri A., 2012. Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. *Journal of Hydrology*, 436–437: 102–110

21. Hammoudi A., Amokrane F., 2001. Aménagement expérimental d'un bassin versant dans l'oued Bouguedfine (BV d'oued Sly). Actes des troisièmes journées scientifiques de l'INRA, Bejaia, Algérie, 2001 : 243 – 253.
22. Hoyos N., 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena*, 63 (1): 85-108.
23. Ibrahim H., Ammar O., 2000. Groundwater exploration in the coastal area of Syria using satellite images. Final report on applied project, 79 p.
24. Garcia-Ruiz J., Lasanta T., Ruiz-Flano P., Ortiza L., White S., Gonzalez C., Marti C., 1996. Land use changes and sustainable development in mountain areas: a case study in the Spanish Pyrenees. *Landscape Ecology*, 11 (5): 267-277.
25. Godert W. J. van Lynden, Mantel S., 2001. The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping: some user experiences and expectations. *JAG* 3 (1): 61 – 68.
26. Kouli M., Soupios P., Vallianatos F., 2009. Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*, 57: 483 - 497.
27. Laouina A., 2000. La montagne marocaine : dynamiques agraires et développement durable. Chaire Unesco-Gas naturel, 141 p.
28. Le Bissonnais Y., 2003. Maitrise de l'érosion hydrique des sols cultivés Phénomènes physiques et dispositifs d'action. Programme GESSOL, Rapport final, 76 p.
29. Lenzi M.A., Di Luzio M., 1997. Surface runoff, soil erosion and water quality modelling in the Alpone watershed using AGNPS integrated with a Geographic Information System. *European Journal of Agronomy*, 6 :1-14
30. Lescomplekt, 1983. Etude et projet pour la mise en valeur des terres, aménagement des forêts et parcs nationaux dans le massif Ouarsenis. Schéma directeur d'aménagement, Rapport, vol. I, Bulgarie, 342 p.
31. Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J., & Kim, K.S., 2005. GIS-based sediment assessment tool. *Catena*, 64: 61–80
32. Lopez-Bermudez F., Rognon P., 1996. Erosion hydrique, désertification et aménagement dans l'environnement méditerranéen semi-aride. Université de Murcia, Réseau 8 : Désertification et aménagement, 259 p.
33. Lufafa A., Tenywa M.M., Isabirye M., Majaliwa M.J.G., Woome P.L., 2003. Prediction of soil erosion in a Lake Victoria basin catchment using a GIS-based universal soil loss model. *Agricultural Systems*, 76: 883–894.
34. Nekhay O., Arriaza M., Boerboom L., 2009. Evaluation of soil erosion risk using Analytic Network Process and GIS: A case study from Spanish mountain olive plantations. *Journal of Environmental Management*, 90: 3091–3104
35. Nigel R. and Rughooputh S., 2010. Mapping of monthly soil erosion risk of mainland Mauritius and its aggregation with delineated basins. *Geomorphology*, 114:101–114.
36. ONM, 2011. Office National de Météorologie, rapport interne, 74 p.
37. Pandey A., Mathur A., Mishra S.K., Mal B.C., 2009. Soil erosion modeling of a Himalayan watershed using RS and GIS. *Environmental Earth Sciences*, 59 (2): 399 - 410.
38. Poesen J.W.A., Hooke J.M., 1997. Erosion, flooding and channel management in Mediterranean environments of southern Europe. *Progress in Physical Geography*, 21:157–199.
39. Prasannakumar V., Vijith H., Abinod S., Geetha N., 2012. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience Frontiers* 3(2):209-215
40. Raissouni A., Issa L., Arrim A., Maâtouk M., Passalacqua R., 2012. GIS-Based Model to Assess Erosion Sensitivity in Northern Morocco - Laou Watershed Case Study. *International Journal of Geosciences*, 3 (3): 610-626. doi: 10.4236/ijg.2012.33061.

41. Ranieria S.B.L., de Jong van Liera Q., Sparoveka G., Flanagan D.C., 2002. Erosion database interface (EDI): a computer program for georeferenced application of erosion prediction models. *Computers & Geosciences*, 28: 661–668.
42. Roose E., 1994. Introduction à la G.C.E.S, *Bulletin pédologique F.A.O* 70, 420 p.
43. Roose E., De Noni G, 1998. Apport da la Recherche à la lutte antiérosive : Bilan mitigé et nouvelle approche. *Etudes et Gestion des Sols*, 5 (3) :181-194.
44. Sabir M., 2002. Quelques techniques traditionnelles de gestion de l'eau et de lutte antiérosive dans le bassin versant de Sidi Driss, Haut Atlas Central, Maroc. *Bull. Réseau Érosion*, 21:224-31.
45. Seelman K., 1983. Satellite data in aid of groundwater exploration: A case study from Karnataka, India. International Conference on Groundwater and Man, Sydney, 1983:169–173.
46. Srinivas C.V., Maji A.K., Reddy G.P.O., Chary G.R., 2002. Assessment of soil erosion using remote sensing and GIS in Nagpur district, Maharashtra for prioritisation and delineation of conservation units. *Journal Indian Society of Remote Sensing*, 30 (4): 197-212.
47. Svoray T., Atkinson P. M., 2012. Geoinformatics and Water- Erosion Processes. *Geomorphology*, doi: 10.1016/j.geomorph.2012.10.001.
48. Terranova O., Antronico L., Coscarelli R., Iaquina P., 2009. Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: An application model for Calabria (southern Italy). *Geomorphology*, 112: 228–245.
49. Touaibia B., 2010. Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. *Sécheresse*, 21 (1) :1-6.
50. Trimble S.W., Crosson P., 2000. Land use - US soil erosion rates - Myth and reality. *Science*, 289: 248-250.
51. Valentin C., Poesen J., Li Y., 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63:132-153.
52. Vrieling A., 2006. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. *Catena*, 65: 2-18.
53. Wu X. and Wang X., 2011. Spatial Influence of Geographical Factors on Soil Erosion in Fuyang County, China. *Procedia Environmental Sciences*, 10: 2128 – 2133.

Please cite this Article as:

ABDELBAKI A., ABDELBAKI Ch., OLDACHE E., SEMAR A., 2018. Apport des SIG dans l'élaboration d'un plan d'aménagement anti-érosif : Cas du sous bassin de Bouguedfine (Zahrez Chlef, Algérie). *Agric. For. J.*, 2(1): 1-17

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1313153>