

Cartographie des risques d'érosion hydrique dans le bassin versant El Azire (Tunisie Centrale)

Boughattas Nour El Houda⁽¹⁾, Mennoubi Sfar Felfoul⁽²⁾, Snane Mohamed Habib⁽¹⁾
Boussema Mohamed Rached⁽¹⁾

(1) Laboratoire LTSIRS, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Tunis, PB 37, Le Belvédère 1002, Tunis
Tél. : 216 71 874 700 - Fax : 216 71 872 729

(2) Institut National Agronomique de Tunisie, PB 43, Avenue Charles Nicolle 1082, Tunis
Tél. : (+216) 71 287 110

E-mail: nourelhoudaboughattas@yahoo.fr

E-mail : mennoubisfar@yahoo.com

E-mail : snanehabib@yahoo.com

E-mail : rached.boussema@enit.rnu.tn

Résumé

La Tunisie Centrale est caractérisée par un climat semi-aride et une pluviométrie irrégulière et torrentielle. Les processus physiques et surtout l'érosion hydrique sont prédominants. Ils contribuent à l'érosion et à l'évacuation des formations superficielles faisant apparaître la roche mère. Le bassin versant de l'oued El Azire qui est un affluent sud de l'oued Nebhana, occupe une superficie de 26.81 Km². La formation el Haria attribuée au Maastrichtien moyen-Paléocène occupe 52,8% de sa superficie. Elle est très affectée par l'érosion ravinante et présente plusieurs zones à fort risque d'érosion.

Dans le présent travail, nous avons appliqué au bassin versant El Azire le modèle hydrologique et d'érosion ANSWERS (Areal Non Point Source Watershed Environment Response Simulation) qui est un modèle à base physique et à paramètres distribués. L'organisation des données de sortie du modèle a permis de dresser la carte des risques d'érosion dans le bassin versant. Nous avons ensuite évalué l'efficacité des aménagements existants, et nous avons proposé un scénario d'aménagements de conservation des eaux et des sols.

Mots clés : Erosion, Carte des risques, Formations géologiques, ANSWERS, Scénario d'aménagement.

1. Introduction

La Tunisie centrale appartient à l'étage bioclimatique semi-aride. Elle est caractérisée par une irrégularité mensuelle et annuelle de la pluviométrie et un couvert végétal très dégradé. La roche mère affleure dans la majorité des cas et les sols subissent une forte érosion hydrique.

Les événements pluvieux dont la hauteur est supérieure à 40 mm participent à plus de 40% de la pluviométrie annuelle (Sfar Felfoul et al, 2003). Ces événements pluvieux, souvent exceptionnels, provoquent une forte dégradation des sols et un ravinement intense des différentes unités lithologiques.

L'objectif de cette étude est de déterminer et de cartographier l'aléa d'érosion hydrique du bassin versant El Azire. Ce résultat servira comme référence pour simuler à l'aide du modèle ANSWERS (Areal Non-point Source Watershed Environmental Response Simulation) (Beasley et al, 1981) un scénario d'aménagement dans le but de minimiser le risque d'érosion hydrique dans les zones à fort aléa.

Une bonne connaissance des conditions naturelles du milieu telles que la lithologie, la géomorphologie, la pédologie, l'occupation des sols sont nécessaires à une simulation des pertes en sol et du ruissellement généré suite à un événement pluvieux.

Les modèles d'érosion à paramètres physiques et distribués constituent aujourd'hui une révolution pour la simulation et la prévention des transports liquides et solides dans les bassins versants. La grande variabilité spatiale des paramètres utilisés par ces modèles rend la télédétection et les Systèmes d'Information Géographiques (SIG) un outil indispensable dans notre travail.

Auparavant, plusieurs études ont été effectuées traitant de l'érosion des bassins versants. La plupart sont basées sur l'équation universelle de perte en terre (USLE) de Wischmeier et Smith modifiée par William et al (William et al, 1977). Cette équation tente de prévoir à long terme l'érosion en fonction de paramètres rarement définissables et mesurables dans les bassins versants montagneux des zones semi-arides (Boughattas et al, 2003).

2. Zone d'étude

Le bassin versant d'Oued El Azire fait partie du grand bassin versant d'Oued Nebhana situé en Tunisie centrale. Il couvre une superficie de 26,56 km² (Figure n°1). Il est limité à l'ouest par Djebel Bou Hadjar, à l'est par les Djebels Touila et Guebla et au sud par les Djebels Zerdoud et Ouechtata. L'exutoire du bassin versant est situé entre Djebel El Azire et Djebel Soufel Alia. Les caractéristiques physiques déterminées sont résumées dans le tableau n°1. Elles montrent un pouvoir d'érosion hydrique important comme la plupart des bassins versants de la Tunisie centrale.

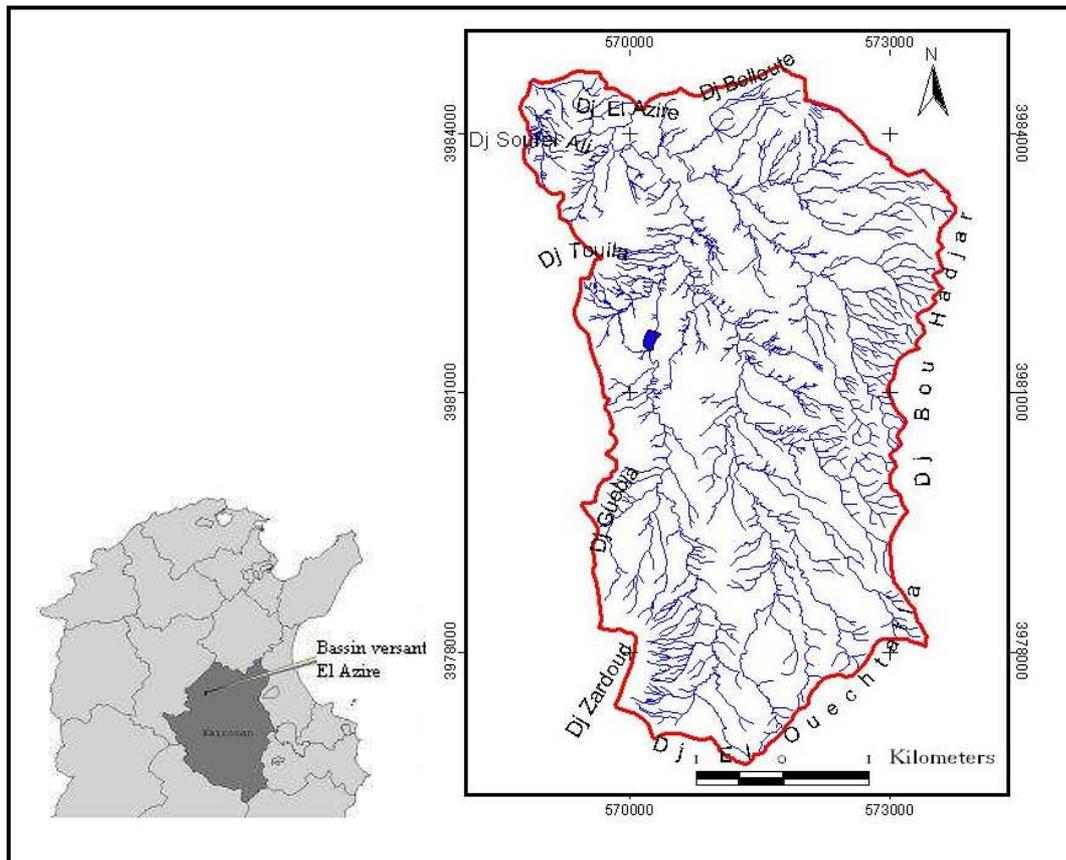


Figure n° 1 : Localisation de la zone d'étude

Tableau n°1 : Caractéristiques du bassin versant El Azire.

	Bassin versant El Azire
Périmètre P (km)	26.18
Indice de Compacité K_G	1.42
Longueur L (km)	8.10
Largeur l (Km)	5.02
Altitude maximale (m)	779
Altitude minimale (m)	256
Dénivelée (m)	523

3. Méthodologie

La méthode de modélisation à la fois des apports en sédiments et en eau doit traiter le bassin versant d'une manière spatialisée, d'où le développement d'une nouvelle génération de modèles dit distribués ou spatialisés au lieu des modèles globaux. Cette méthodologie repose essentiellement sur des données physiques comme l'altitude et la pente ainsi que les directions d'écoulement qui peuvent être extraites d'un Modèle numérique de terrain (MNT), l'érosivité des pluies à partir des stations de mesures météorologiques, l'érodabilité du sol à partir de l'échantillonnage et l'analyse du sol, le taux de couverture du sol à partir de l'interprétation des photos aériennes.

La version utilisée du modèle ANSWERS (Beasley et al, 1981) est celle modifiée par Dillaha et al en 1989. Elle estime la répartition des sédiments transportés dans le temps (turbidigramme) et dans l'espace en utilisant des mailles régulières facilitant ainsi l'intégration des données géo-référencées de télédétection.

Le modèle ANSWERS est constitué de plusieurs sous-modèles, un modèle hydrologique et un modèle d'érosion divisé en deux sous-modèles, un pour le détachement des sédiments et un autre pour le transport de ces sédiments. Le modèle définit alors l'interception de la pluie par la végétation, l'infiltration et la détention de l'eau par la surface du sol, le ruissellement, l'écoulement dans les cours d'eau, le détachement des sédiments par la pluie (phénomène de splash) et par le ruissellement, leur transport et leur dépôt.

Dans cette étude, nous avons choisi de travailler sur une pluie exceptionnelle de moyenne ampleur. L'averse traitée pour déterminer les zones à risques d'érosion hydrique est celle de 02/10/1997, d'une hauteur de 41,5 mm et d'une durée de 50 min. Au cours de cette averse, l'intensité de pluie a atteint les 114 mm/h après 13 min.

La démarche méthodologique poursuivie pour l'élaboration de la carte de risque d'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant et pour l'évaluation des aménagements existants est décrite dans le diagramme de la figure n°2.

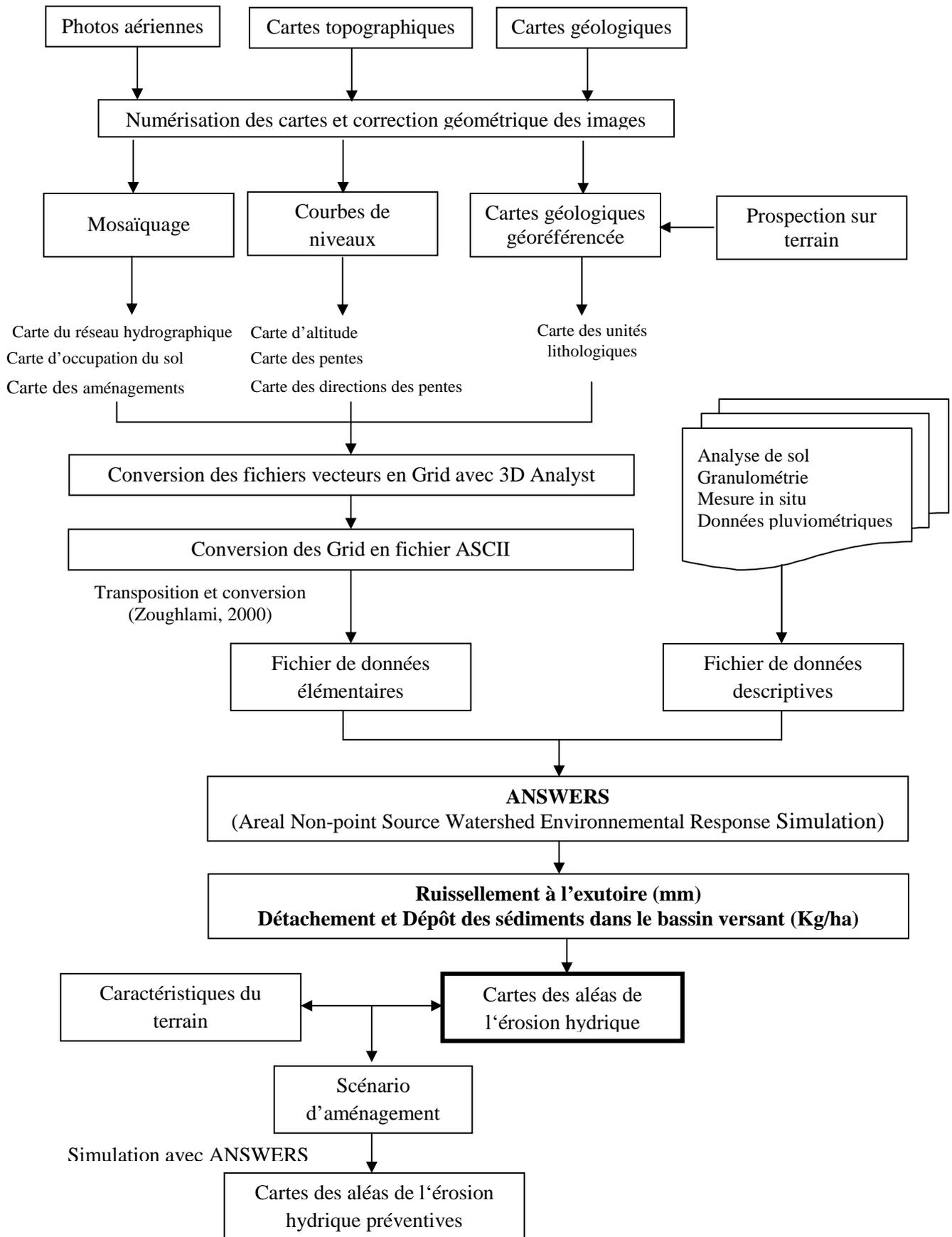


Figure n° 2 : La démarche méthodologique

4. Résultats

4.1. Les unités lithologiques du bassin versant El Azire

Dans le bassin versant d'Oued El Azire, nous avons pu identifier 12 unités lithologiques relativement homogènes (tableau n°2) présentées sur la carte géologique du bassin versant El Azire (figure n°3). Cette carte a été établie par nos soins à l'échelle 1/25000 à partir de la couverture géologique de la zone à l'échelle 1/50000 et la prospection sur terrain. Parmi ces unités, seulement 4 couvrent une superficie représentative à savoir la formation El Haria avec un pourcentage d'occupation de surface qui dépasse 52,8%, l'Abiod avec 24%, Bou Dabbous avec 8,6% et les alluvions actuelles avec 5,8% (voir Figure n°4).

La formation El Haria Inférieur attribuée au Maastrichien moyen à supérieur et El Haria Supérieur attribuée au Maastrichien supérieur-Paléocène montre une pellicule résultant de la phase de dessiccation-humectation des argiles affectées par des fentes de dessiccation. Cette pellicule sera détachée facilement par les gouttes de pluies et les eaux de ruissellement. Cette formation montre un ravinement dense surtout sur les pentes fortes où la végétation est presque absente. Des phénomènes de suffosion ou « piping » sont observés dans cette formation accentuant le ravinement.

La formation Abiod de Djebel Bou Hadjar est formée par la barre supérieure ou Maastrichienne. Cette barre est formée essentiellement par des bancs calcaires blancs, épais et durs.

Le calcaire à globigérine de l'Yprésien de la formation Bou Dabbous est affecté par une fracturation intense dans plusieurs directions. Cette fracturation facilite l'érosion et le détachement des galets qui tapissent et occupent le lit de l'Oued. Le calcaire est affecté aussi par des fissurations remplies de Calcite.

La terrasse T1 correspond à un matériel essentiellement grossier conglomératique alors que la terrasse T2 est argilo-limoneuse à intercalations de niveaux conglomératiques affectés par un ravinement et sapement des berges.

Tableau n° 2 : Les unités lithologiques du bassin versant de l'Oued El Azire

Unité lithologique	Formation	Superficie (ha)	Caractéristiques
1	Ccam : Campanien supérieur-Maastrichien inférieur	637	Calcaire blanc litée en bancs fortement diaclasés (ABIOD)
2	Cm : Maastrichien moyen à supérieur	307	Alternances marno-calcaires (EL HARIA inférieur)
3	P : Paléocène	1099	Marnes gris-noires à intercalations calcaires (EL HARIA supérieur)
4	Ey : Eocène inférieur	228	Calcaire gris claire à Globigérines (BOU DABBOUS)
5	EIp : Eocène moyen à Supérieur	20	Argiles à intercalations de calcaire glauconieux et de lumachelles (SOUAR)
6	Qp2a : Pléistocène moyen	72	Alluvions et croûtes feuilletées
7	Qp3a : Pléistocène Supérieur	9	Encroûtements, sols et dépôt alluviaux
8	Qp4a : Pléistocène terminal	7	Colluvions et alluvions
9	T1 : Quaternaire récent (Terrasse T1 (3m))	3	Argilo-limoneuse à intercalation de niveaux conglomératique
10	T2 : Quaternaire récent (Terrasse T2 (7m))	18	
11	Plaines alluviales	103	Silts et épandages
12	a : Actuels	153	Alluvions

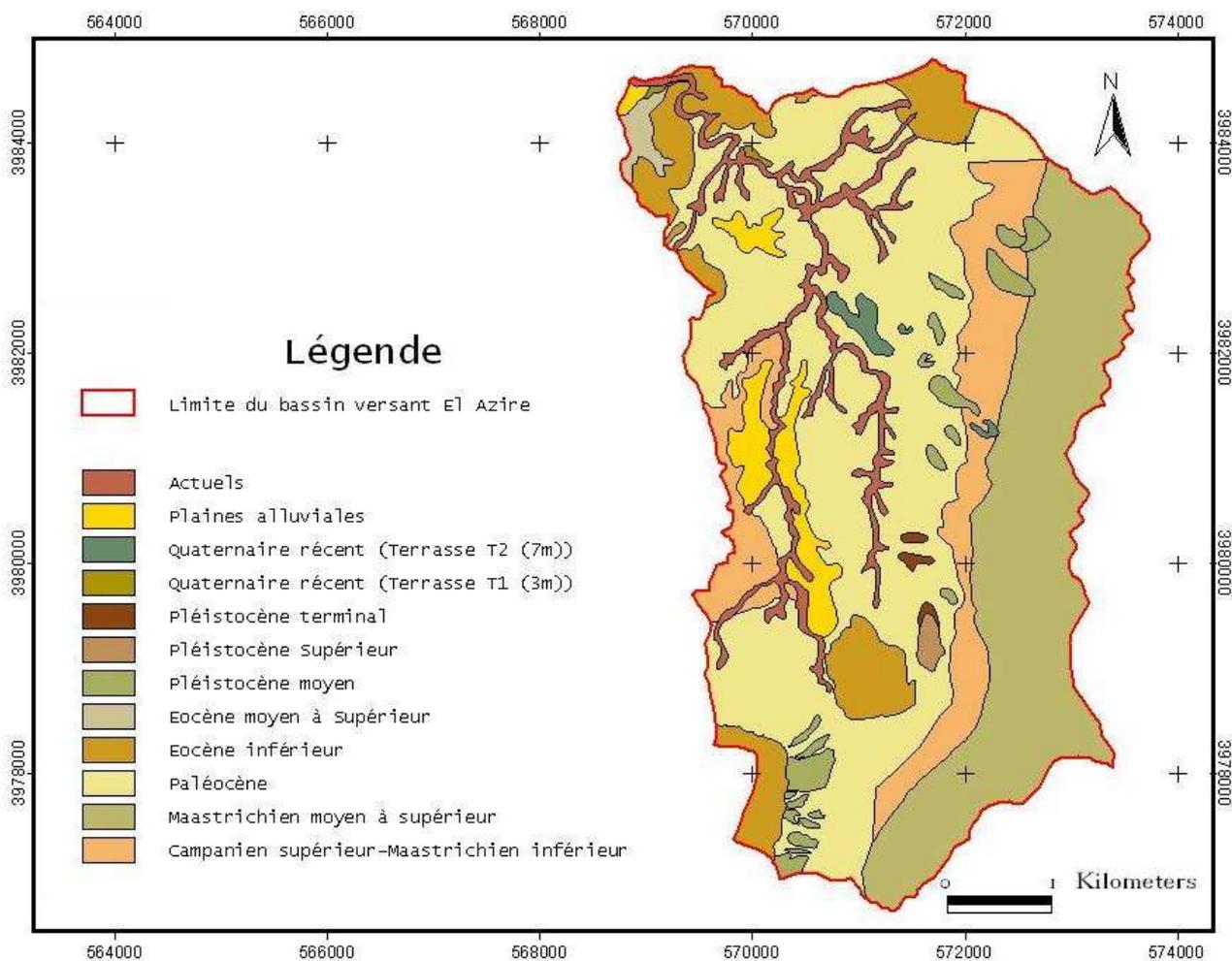


Figure n° 3: Carte Géologique du bassin versant El Azire

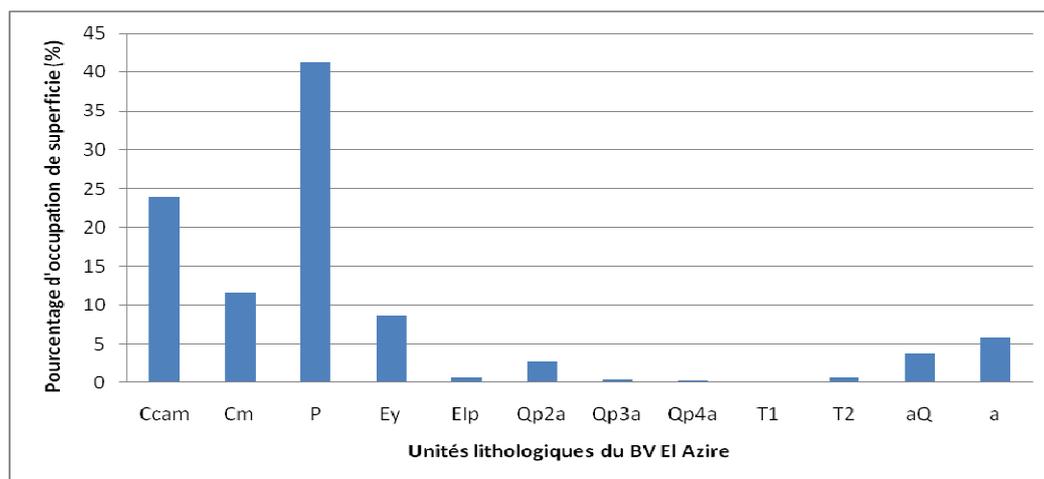


Figure n° 4 : La répartition des superficies des unités lithologiques dans le bassin versant El Azire.

4.2. Les aménagements dans le bassin versant El Azire

Le bassin versant El Azire est moyennement aménagé surtout dans sa partie aval où on trouve un réseau de banquettes d'une longueur supérieure à 73 km. Ces banquettes sont installées sur les parcelles agricoles de la formation El Haria (Paléocène) et sur les pieds des versants de forte pente de Dj Belloute (sol surmontant Eocène inférieur, formation Bou Dabbous). Alors que sur les versants de Dj Soufel Ali de la formation Souar des cordons en pierres sèches ont été installés. Actuellement, la majorité de ces banquettes sont en mauvais état donc inefficaces (photo n°1). Leur réhabilitation s'avère nécessaire.

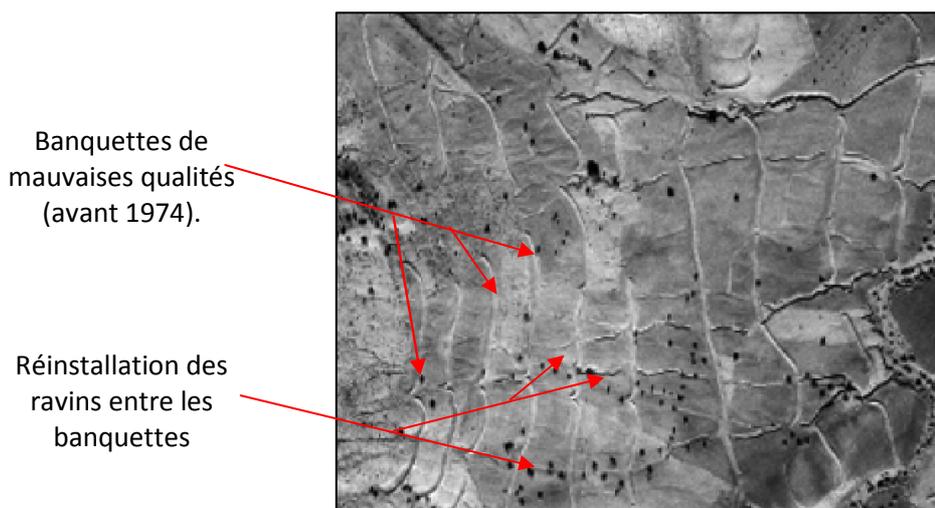


Photo n°1 : Photographie aérienne (mission 2000) montrant la réinstallation du réseau hydrographique dans la formation El Haria du bassin versant EL Azire.

Un lac collinaire est déjà construit sur l'un des sous-bassins versants collectant les eaux de ruissellement et le transport solide d'une superficie égale à 5,62 km². Les eaux retenues sont utilisées par les paysans à l'irrigation et l'abreuvement des troupeaux.

Certaines parcelles d'oliviers à pente abruptes sont aménagées par des cuvettes en pierres sèches pour retenir l'eau et éviter l'érosion des terres tout autour de l'arbre mettant les racines à nu.

Des seuils en gabion installés sur l'oued principal sont totalement comblés de sédiments et n'ont aujourd'hui aucun effet de rétention de sédiments. Au contraire, la chute libre que subit l'eau chargée de sédiments après ces seuils permet d'aggraver l'érosion régressive et ravinante par creusement au niveau du lit de l'oued comme le montre la photo n°7(a). Dans d'autres cas, les seuils n'ont pas pu résister à la charge importante des sédiments retenus et sont détruits comme le montre la photo n°7(b) alors que pour d'autres cas, les seuils n'ont pas été bien ancrés.



(a)



(b)

Photo n° 2 : Les aménagements dans le bassin versant El Azire. (a) Seuil en gabion comblé de sédiments. (b) Seuil en gabion détruit lors d'un affouillement des berges de l'Oued.

La carte des aménagements du bassin versant El Azire (figure n°5) a été élaborée à partir des photos aériennes de la mission 2000. Les seuils en gabion sont localisés à l'aide d'un GPS lors de la sortie sur le terrain. Les aménagements qui sont en bon état ont été introduits dans le modèle ANSWERS comme donnée d'entrée en précisant à chaque maille du modèle s'il y a ou non un aménagement et de quel type.

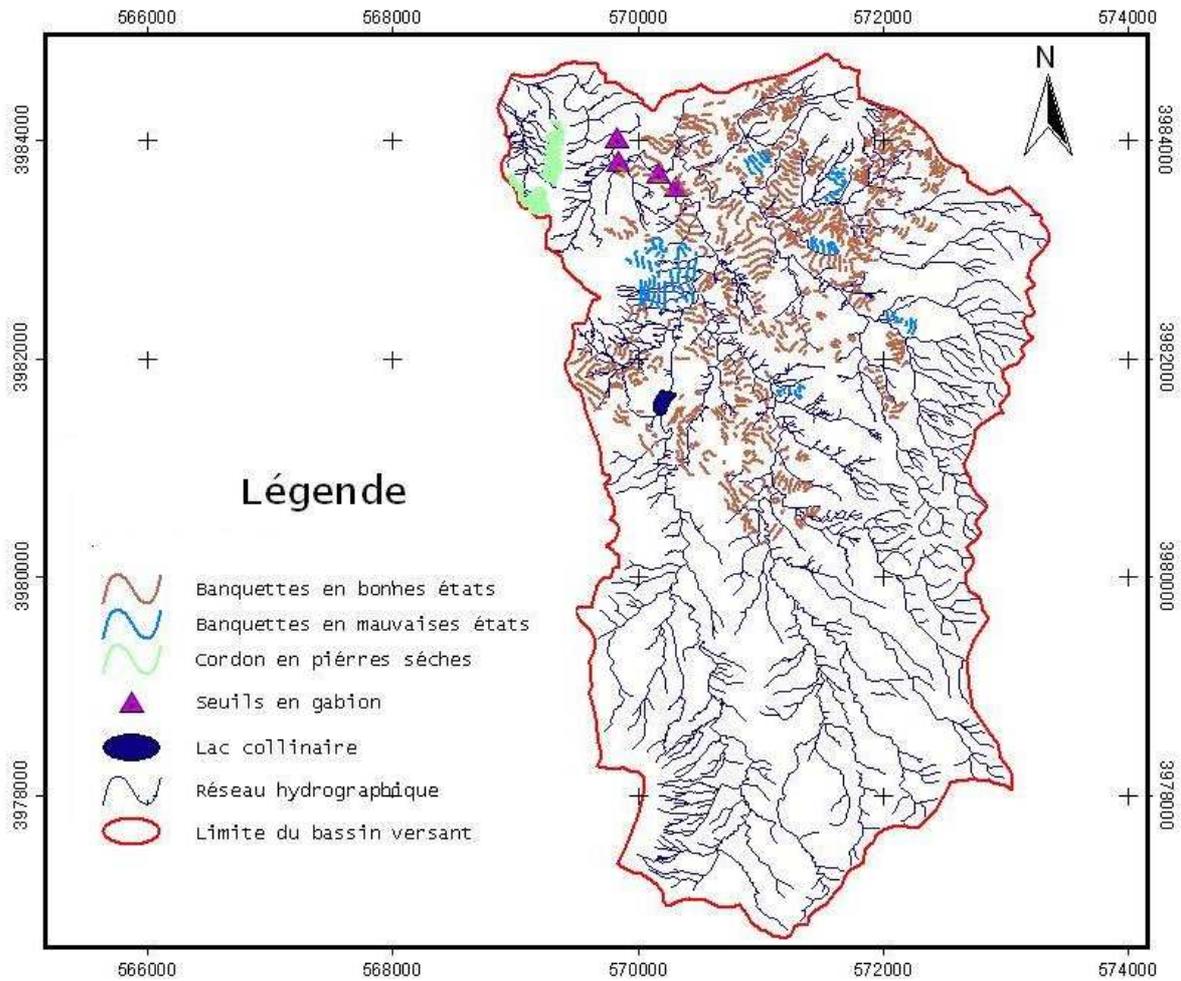


Figure n° 5 : Carte des aménagements (avant l’année 2000) dans le bassin versant El Azire.

4.3. Cartographie d’érosion

Au cours de la simulation effectuée par le modèle ANSWERS, nous avons considéré que tous les seuils en gabions et les banquettes en mauvaises qualités sont inexistantes. ANSWERS permet de déterminer la perte en sol moyenne du bassin versant en plus des données de perte en sol de chaque maille. Pour cela, nous avons pu cartographier les zones du bassin versant touchées par un aléa d’érosion très fort et fort (figure n°6).

La simulation de l’averse du 02/10/1997 d’une hauteur de 41,5 mm pendant 50 min a généré une hauteur de lame ruisselée égale à 11.95 mm et une valeur de pertes en sol moyenne égale à 5153 kg/ha. La majorité de la superficie du bassin versant est affectée par l’aléa de l’érosion et seulement 5.3% de la superficie n’est pas concerné ou à aléa d’érosion nul (tableau n°3).

D’après la carte d’aléa d’érosion hydrique du bassin versant El Azire, les formations El Haria (Inférieur et Supérieur) et Souar ainsi que les alluvions actuelles qui sont les plus érodables causent la majorité du transport solide et ce d’autant plus qu’elles couvrent 60% de la superficie du bassin versant.

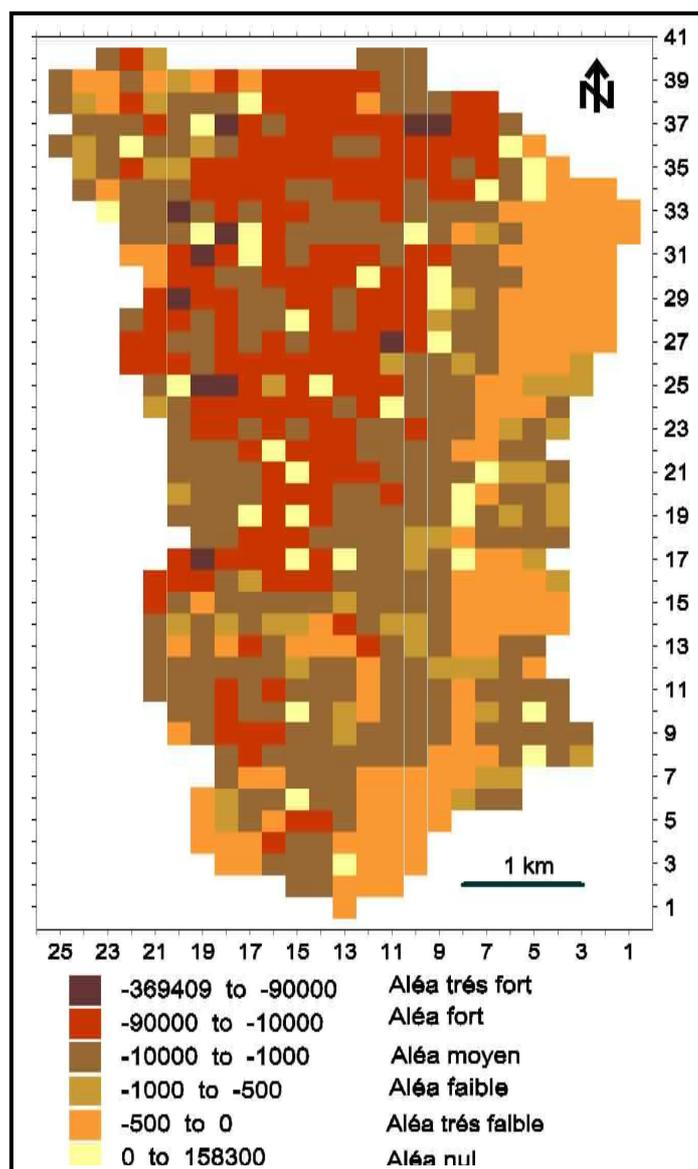


Figure n° 6 : Carte des mailles d'érosion de l'averse du 02/10/97 pour le bassin versant El Azire (les mailles sont de 200 m).

Tableau n° 3 : Les pourcentages des classes d'érosion du bassin versant El Azire

Nom de classe	Classe Taux de sédiments (kg/ha)	Etat actuel du bassin versant	Simulation de Scénario d'aménagement
		Pourcentage (%)	Pourcentage (%)
Classe 1 : aléa très fort	-369409 - -90000	1.7	0
Classe 2 : aléa fort	-90000 - -10000	25.2	23.6
Classe 3 : aléa moyen	-10000 - -1000	39.3	44.4
Classe 4 : aléa faible	-1000 - -500	8.3	9.3
Classe 5 : aléa très faible	-500 - -0	20.3	20.6
Classe 6 : aléa nul	0 - 1000	5.3	2.1

Seulement 1.7% de la superficie est affecté par un aléa très fort et 25.2% par un aléa fort. Nous avons choisi d'effectuer les différents types d'aménagements dans les mailles appartenant essentiellement à ces deux classes d'aléa.

4.4. Simulation d'un scénario d'aménagement

Les formations prédominantes du bassin versant El Azire sont très érodables et la plupart des aménagements construits sur ces formations ont été détruits ou comblés par les sédiments. Nous avons effectué une simulation d'un scénario d'aménagement dont l'objectif est de diminuer l'aléa d'érosion hydrique dans ce bassin versant. Pour commencer, il faut d'abord réhabiliter presque la totalité des banquettes construites surtout celles situées sur les flancs sud ouest des Dj Belloute et Touila et par la suite construire d'autres banquettes mécaniques sur des parcelles agricoles situées en amont du bassin versant. Nous avons proposé la construction de deux lacs collinaires en amont pour retenir les sédiments détachés des Dj Ouchtatia et Bou Hadjar. Nous n'avons pas proposé l'établissement des seuils en gabion parce qu'ils sont plus coûteux et moins efficaces que les lacs collinaires.

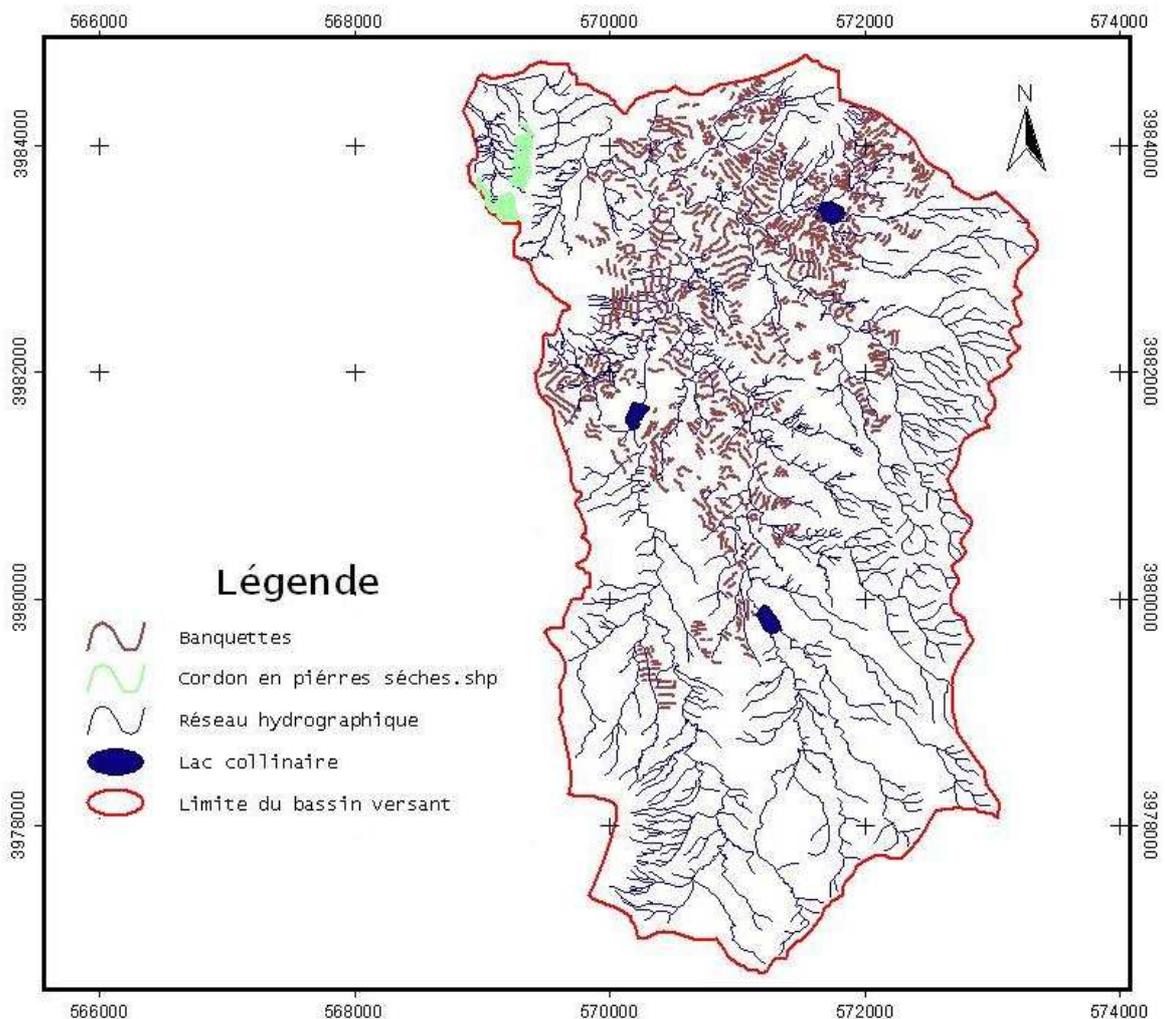


Figure n° 7 : Carte des aménagements proposés dans le bassin versant El Azire

Suite à la simulation du scénario proposé, nous avons pu constater que la hauteur d'eau sortant du bassin versant est devenue égale à 6.68 mm au lieu de 11.6 mm, la différence a été retenue surtout par les lacs collinaires. La diminution des pertes en terre de 5000 à 844 kg/ha serait due surtout à l'effet des banquettes. En effet, ces dernières devraient permettre la rétention de 11452 tonnes de sédiments en comparaison avec les 416 tonnes retenues par les lacs.

La figure n°8 montre que pour la maille 514 de coordonnées (32,18) et ayant un taux de détachement des sédiments égale à 369409 kg/ha à l'état initial, les pertes en sol ont diminué suite à l'installation des banquettes à 29989 kg/ha. Malgré la diminution très importante du taux de détachement des sédiments dans cette maille, l'aléa d'érosion hydrique reste fort.

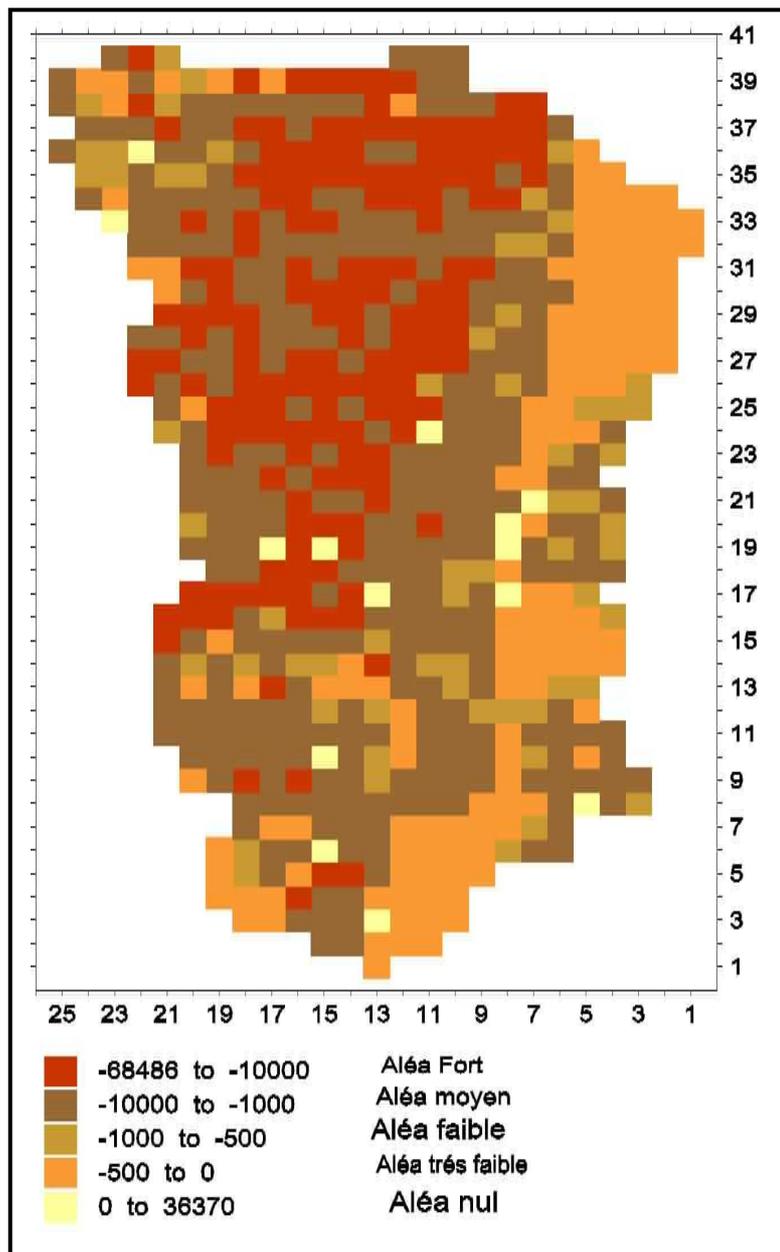


Figure n° 8 : Carte des mailles d'érosion simulée de l'averse du 02/10/97 pour le bassin versant El Azire (les mailles sont de 200 m).

5. Conclusion

La présente étude constitue un apport pour la cartographie des aléas et des risques d'érosion hydrique des sols dans les zones semi-arides de la Tunisie centrale. Les cartes de sensibilité à l'érosion aident à la mise en œuvre des travaux de conservation des eaux et des sols dans les meilleurs endroits pour garder l'érosion au dessous d'une valeur limite tolérable. La nouvelle génération des modèles hydrologiques et d'érosion à base physique et distribués a facilité notre tâche.

Dans le cas du bassin versant El Azire, plus de 50% de la superficie est occupée par des formations très vulnérables à l'érosion telle qu'El Haria Supérieur, El Haria Inférieur, Souar et les alluvions actuelles. Les aménagements construits sur ces formations ne peuvent pas tenir pendant une longue période. C'est pour cela qu'il faut éviter la céréaliculture qui aggrave d'avantage la situation et penser à la reforestation pour essayer de tenir le sol et diminuer l'érosion régressive.

Les aménagements proposés pour la diminution de l'aléa d'érosion hydrique dans le bassin versant El Azire serviront encore à la diminution de la quantité de sédiments qui participera par la suite à l'envasement du barrage Nebhana.

Remerciements

Mes remerciements s'adressent à M. Moez Mansoura (ONM) qui a mis à ma disposition certaines données nécessaires à l'élaboration de cette étude.

Références bibliographiques

- Beasley, D.B, Huggins, L.F. (1980).** ANSWERS: a model for watershed planning. Trans ASAE. 23 (4). 938 - 944.
- Boughattas, N.H., Sfar Felfoul, M., Boussema, M.R et Snane, M.H. (2003).** Relation entre l'efficience des lacs collinaires et la sensibilité au ravinement de leur bassin versant en Tunisie centrale. La Houille Blanche n°6-2003, 34 – 40.
- Sfar Felfoul, M. Bouchnak, H., Boussema, M.R et Snane, M.H. (2000).** Etude de l'évolution du ravinement par unité lithologique dans les bassins versants des Oueds El Hammam et Rmel dans la région de Sebkh el Kalbia en Tunisie centrale. Annales des mines et de la géologie, n°40, 2000, 55 – 62.
- William, J.R., Berndt, H.D. (1977).** Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. ASAE, 20 (6). 1100-1104.
- Zoughlami, M. (2000).** Intégration de données à référence spatiale issues d'un SIG dans un modèle hydrologique. DEA, ENIT, LTSIRS., 97 p + annexes.