

Estimation des paramètres de l'érosion hydrique à l'aide de la télédétection et du SIG : cas du bassin-versant de l'Oued Tlil (Nord-Est de la Tunisie)

S. CHERNI^{1,2}, H. SAMAALI^{2,3}

Résumé. L'érosion hydrique constitue l'une des premières causes de la dégradation du patrimoine agro-pédologique. Ce phénomène est très connu dans le bassin-versant d'Oued Tlil, secteur concerné par cette étude. Situé dans le Nord-Est de la Tunisie, ce bassin présente un relief très accidenté avec des altitudes qui varient de 50 m à 420 m et des pentes fortes allant de 2 à 25% et parfois plus. Il s'étend sur une superficie de 45 km² drainée par un ensemble d'oueds et principalement l'Oued Tlil.

L'application de l'Equation Universelle des Pertes en Sol vise trois objectifs essentiels :

- L'estimation des paramètres de l'érosion hydrique à savoir, l'agressivité des pluies, l'érodibilité des sols, le facteur topographique, l'indice du couvert végétal et le facteur des pratiques antiérosives.
- L'identification des zones sensibles et à haut risque d'érosion, ainsi que les régions d'urgence d'intervention dans le bassin versant.
- La quantification des pertes en terre par ruissellement.

La cartographie de ces zones est effectuée à l'aide de utilisation de la télédétection et des systèmes d'information géographique.

Ceci permettra d'orienter les différentes actions d'intervention possible de conservation des eaux et du sol programmées dans la région.

Mots clés : Érosion hydrique – Equation Universelle des Pertes en Sol – bassin-versant oued Tlil – Télédétection – SIG.

Abstract. Parameter estimation of water erosion using remote sensing and GIS: the case of the watershed of Tlil river (North-East of Tunisia). Water erosion is one of the main causes of degradation of the agro-soil assets. This phenomenon is well known in the catchment area of Tlil river sector involved in this study. Located in the north-east of Tunisia, this basin has a hilly terrain with altitudes ranging from 50 m to 420 m and steep slopes ranging from 2 to 25% and sometimes more. It covers an area of 45 km² drained by a series of river, mainly Tlil river. The application of the universal equation of soil loss has three key objectives:

- The parameter estimation of water erosion that is, the aggressiveness of rainfall, soil erodibility, topographic factor, the index of vegetation cover and erosion control practices factor.
- The identification of sensitive areas and high risk of erosion and the areas of emergency response in the watershed.
- Quantification of soil loss by runoff.

The mapping of these areas is done using the remote sensing and geographic information systems. This will guide the various measures of intervention possible water conservation and soil programmed in the region.

Keywords: Water erosion – Universal Soil Loss Equation in G – Tlil river watershed – Remote Sensing – GIS.

Introduction

La dégradation des terrains se matérialise généralement par l'érosion gravitaire dont la pente, en plus du couvert végétal, représente un paramètre prédominant. Les causes principales de la dégradation des terres trouvent leur origine dans les facteurs naturels physico-climatiques et hydrologiques. Elles sont aggravées notamment par les facteurs géo-climatiques tels que la lithologie et la morpho-pédologie des bassins, l'agressivité des averses, l'intensité et l'irrégularité du ruissellement,

ainsi que les amplitudes thermiques et la sévérité des débits de pointe des crues. La cartographie de l'érosion et du ruissellement se fonde sur des mesures hydrologiques et l'application des modèles appropriés. Toutefois, l'application d'un modèle ou d'un autre dépend de la variabilité de la surface du bassin et de la disponibilité des données ponctuelles des types de sol et des précipitations.

Cette étude a pour but d'identifier les zones sensibles et à haut risque d'érosion ainsi que les régions d'urgence d'intervention dans le bassin-versant Oued Tlil.

1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant objet de la présente étude est celui d'Oued Tlil. Il s'étend sur une superficie de 45 km² drainée par un ensemble d'oueds et principalement l'Oued Tlil.

Il est situé dans le Nord Est de la Tunisie (figure 1) et délimité à l'est par la route nationale n° 8 qui relie la capitale à la ville de Bizerte et par le domaine d'Utique (zone humide).

A l'ouest le bassin versant est délimité par Jebel kechabta orienté SO-NE avec des altitudes culminant à 421 m. Au sud il est délimité par Jebel Besbessia orienté E-O avec des altitudes culminant à 234 m, par Jebel Duimis orienté NO-SE avec des altitudes culminant à 177 m et Jebel Menzel Ghoul orienté SO-NE avec des altitudes culminant à 170 m.

Le bassin versant de "oued Tlil" présente un relief très accidenté et des pentes fortes allant de 2 à 25 % et parfois plus. La dénivellation varie entre 50 m à 420 m.

Les précipitations moyennes annuelles varient entre 450 mm et 525 mm avec une dominance de l'étage bioclimatique subhumide à hiver chaud.

La lithologie du bassin est constituée principalement par des calcaires, marnes, argiles et localement par des gypses (Jauzein A., 1967).

Quant à l'utilisation des terres, elle s'articule principalement autour de la céréaliculture et

localement la plantation d'oliveraie et arbres fruitiers (Samaali, 2011).

2. Données et matériels utilisés :

2.1. Documents

- Une scène SPOT XS multispectrale du 09/12/1999.
- Cartes topographiques au 1/25 000.
- Cartes pédologiques au 1/20 000.
- Cartes géologiques au 1/50 000.
- Une série de photographies aériennes au 1/20 000 (2000).
- La carte des étages bioclimatiques de la Tunisie (Gounot et Le Houerou, 1955).
- La carte phytocéologique de la Tunisie septentrionale (feuille n°II, Tunis-Bizerte), au 1/200 000.
- Précipitations enregistrées entre 1993 et 2006 (DRE, 2010).
- Carte de végétation de la Tunisie au 1/ 2 000 000 (Gammar, 2002).

2.2. Matériels

- Systèmes de traitement numérique des images satellite (ENVI).
- Système de traitement des données cartographiques (Arc/info et Arc view).

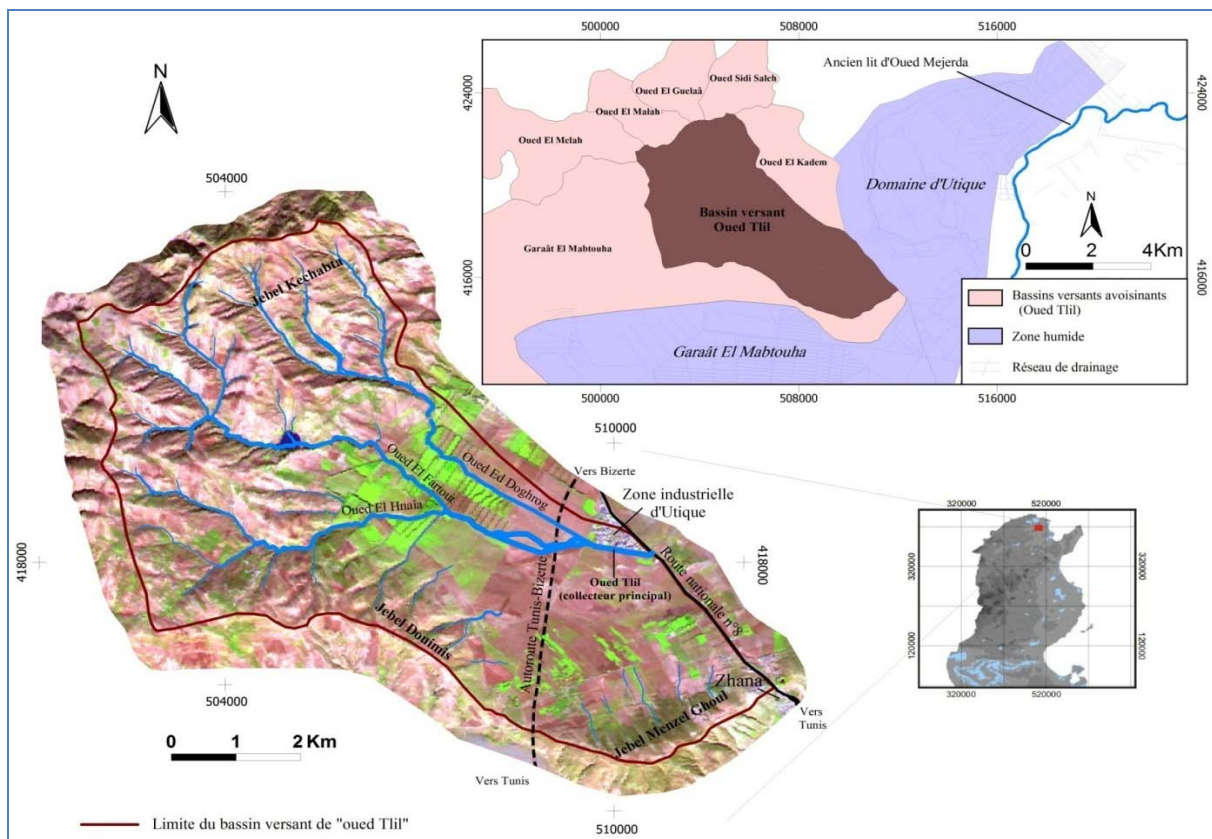


Figure 1 : Localisation du bassin-versant d'oued Tlil

3. Méthodologie

L'Equation Universelle de Perte en Sol (USLE) a été choisie pour évaluer la perte en sol provoquée par l'érosion en nappe (Wischmeier et Smith, 1978). Pour évaluer le ruissellement et l'érosion, on a appliqué le modèle U.S.L.E qui permet de déterminer la sensibilité à l'érosion.

Des valeurs théoriques de pertes de sol annuelles par hectare sont déterminées en fonction des facteurs suivants :

- Facteur climatique (R) ou agressivité des pluies ;
- Facteur topographique (LS) indiquant la pente et la longueur de pente ;
 - Facteur lithologique ou érodibilité des sols (K) ;
 - Facteur cultural (C) déterminé à partir de l'occupation du sol ;
 - Pratiques agricoles antiérosives (P).

La perte en sol (A) est déterminée par le produit des six facteurs précédents selon l'équation :

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

3.1. Elaboration des données :

Elle consiste en :

- La numérisation de l'orographie et l'hydrographie à partir de la carte topographique au 1/25000 qui permet de produire le modèle Numérique de Terrain (MNT) et ses dérivées, ainsi que le réseau hydrographique ;
- La numérisation de la carte pédologique et géologique couvrant le bassin versant afin d'élaborer les couches d'érodibilité des sols ;
- Les traitements numériques de l'image satellitale SPOT XS donnant la carte d'occupation des sols.

L'intégration de ces données dans le Système d'Information Géographique (SIG) piloté par le logiciel ArcView.

Les cartes obtenues sont :

- Carte d'occupation du sol;
- Modèle numérique du terrain (MNT);
- Carte pédologique;

Les classes des sols obtenues après interprétation sont :

- Les sols bruns calcaires;
- Les sols châtaîns rouges, modaux;
- Les sols bruns méditerranéens;
- Les régosols;
- Les vertisols des glacis;
- Les sols bruns calcaires vertiques des glacis;
- Les sols isohumiques vertiques des glacis;
- Les rendzines;
- Les sols isohumiques châtaîns et modaux;
- Les lithosols;

- Les sols peu évolués des terrasses;
- Les sols vertiques des terrasses;
- Les sols hydromorphes;
- Carte du réseau hydrographique;
- Carte lithologique;
- Cartographie de l'érosion.

Il s'agit de quantifier les matériaux solides provenant de l'érosion des sols. Elle est exprimée en tonne par hectare et par année.

La carte d'érosion exprime les tranches de terre perdues en moyenne chaque année au niveau du bassin versant et dont une partie pourrait contribuer à l'envasement des barrages se trouvant à l'aval.

L'expression de la formule mise en œuvre est :

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

Avec :

- A: quantité de sol perdue;
- R : agressivité de pluie;
- K : facteur d'érodibilité des sols;
- L : facteur lié à la longueur de la pente;
- S : facteur lié à l'inclinaison de la pente;
- C : indice cultural;
- P : facteur de mode d'aménagement.

A partir de ces paramètres, on peut définir l'érosion potentielle et l'érosion actuelle.

3.2. Érosion potentielle :

Le potentiel érosif est déterminé par la combinaison des facteurs suivants :

- Facteur d'agressivité des pluies, R ;
- Facteur d'érodibilité des sols, K ;
- Facteur physiographique lié à la pente et la longueur de pente, LS.

Le potentiel érosif (Ap) est déterminé selon la formule suivante :

$$Ap = R \cdot K \cdot LS$$

- **Agressivité de la pluie, R** (figure 2)

Ce facteur est obtenu à partir du dépouillement des données de la pluviométrie portant sur plusieurs années. Les valeurs du facteur R sont déterminées pour la zone d'étude à l'aide de la formule suivante (Cormary et al., 1964).

$$R = k \cdot A \cdot B \cdot C$$

Où :

R : agressivité de pluie.

k : coefficient régional (en Tunisie, $k = 35 \cdot 10^{-5}$ selon Masson, 1971).

A : pluviométrie moyenne inter-annuelle.

B : pluie maximale d'une heure et de période de retour 2 ans.

C : l'intensité maximale de 24 heures et de période de retour 2 ans.

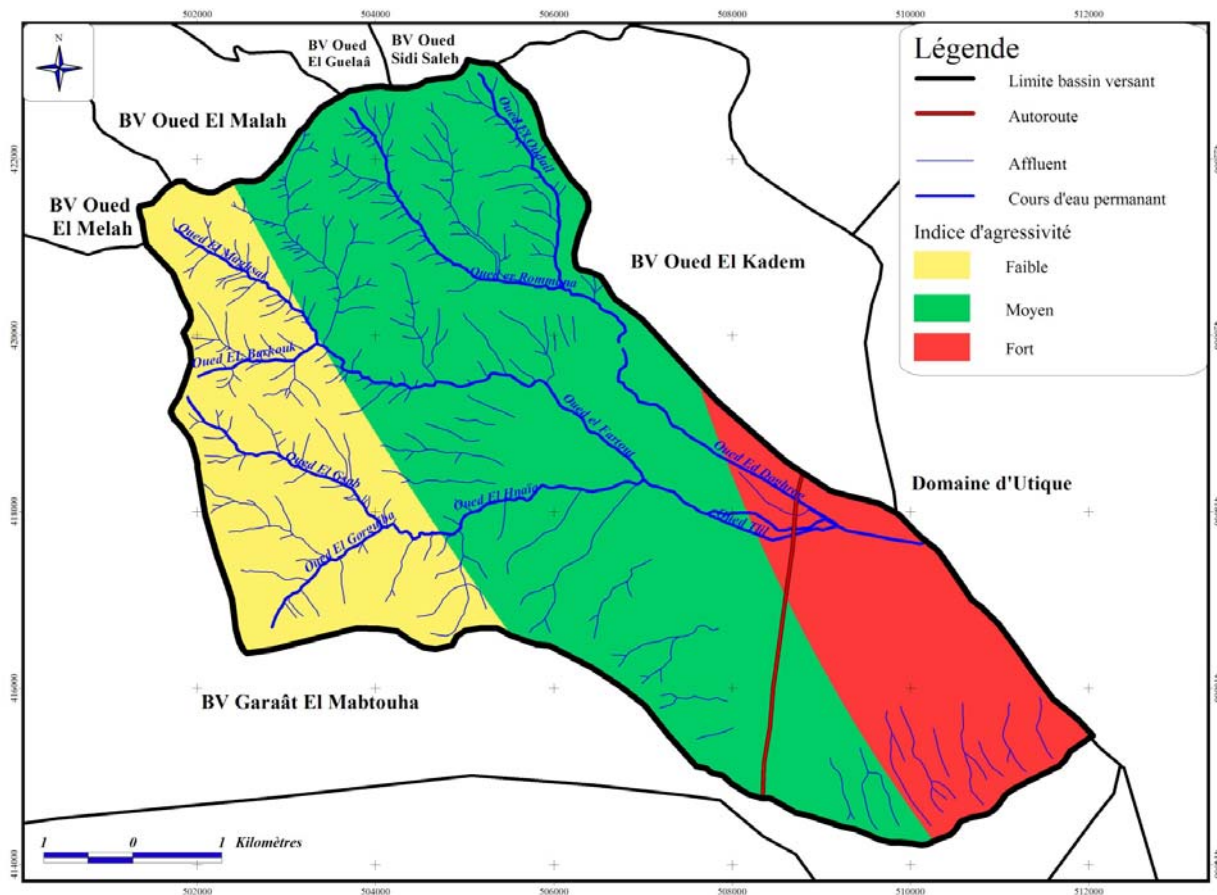


Figure 2 : Indice d'agressivité des pluies du bassin-versant d'oued Tlil

- **Erodibilité des sols, K** (figure 3)

L'érodibilité d'un sol est sa résistance à deux sources d'énergie, la battance des gouttes de la pluie à la surface du sol et l'entaille du ruissellement entre les mottes dans les griffes ou les rigoles.

Elle peut être déterminée selon trois façons :

- recodage d'après les valeurs de K des zones voisines;
- recodage d'après les valeurs bibliographiques,
- valeurs déterminées sur le terrain.

Les sols rencontrés dans la zone sont principalement les sols peu évolués, les sols très évolués, les vertisols, les sols hydromorphes et les sols à sesquioxydes sur calcaire lacustre et localement les sols calcimorphes, les sols isohumiques.

Les valeurs de K adoptées pour le bassin-versant d'Oued Tlil sont respectivement 0,1 ; 0,01 ; 0,05 ; 0,05 ; 0,15 ; 0,2 et 0,13.

Certains auteurs, dont Wischmeier (1978), ont trouvé une corrélation entre ce facteur et les paramètres liés à la structure des sols. Wischmeier, Johnson et Cross (1971) proposèrent un modèle pour calculer le facteur K selon l'équation :

$$1000 K = 2,1 M^{1,4} \cdot 10^{-4} (12 - a) + 3,25 (b - 2) + 2,5 (c - 3)$$

où :

- K : facteur d'érodibilité;
- a : pourcentage de matière organique;
- b : le code de structure;
- c : la classe de perméabilité;
- M : (% sable fin + % limon) (100 - % argile).

La valeur de (K) est alors cataloguée sur des abaques en fonction de la structure des sols et du taux de matières organiques qu'ils contiennent (Wischmeier et al, 1971).

- **Le facteur topographique, LS** (figure 4)

Le facteur LS est le produit de deux sous facteurs à savoir le sous facteur longueur de la pente et le sous facteur gradient de la pente. Ils proviennent du Modèle Numérique du Terrain (MNT). La longueur de la pente (L) est définie comme étant la distance parcourue par une goutte d'eau depuis la source de ruissellement jusqu'à un point donné du bassin.

Un programme développé sur la base des routines d'ArcView a permis de déterminer la carte de potentiel érosif (figure 5) du bassin selon l'expression suivante :

$$Ap = R \cdot K \cdot LS.$$

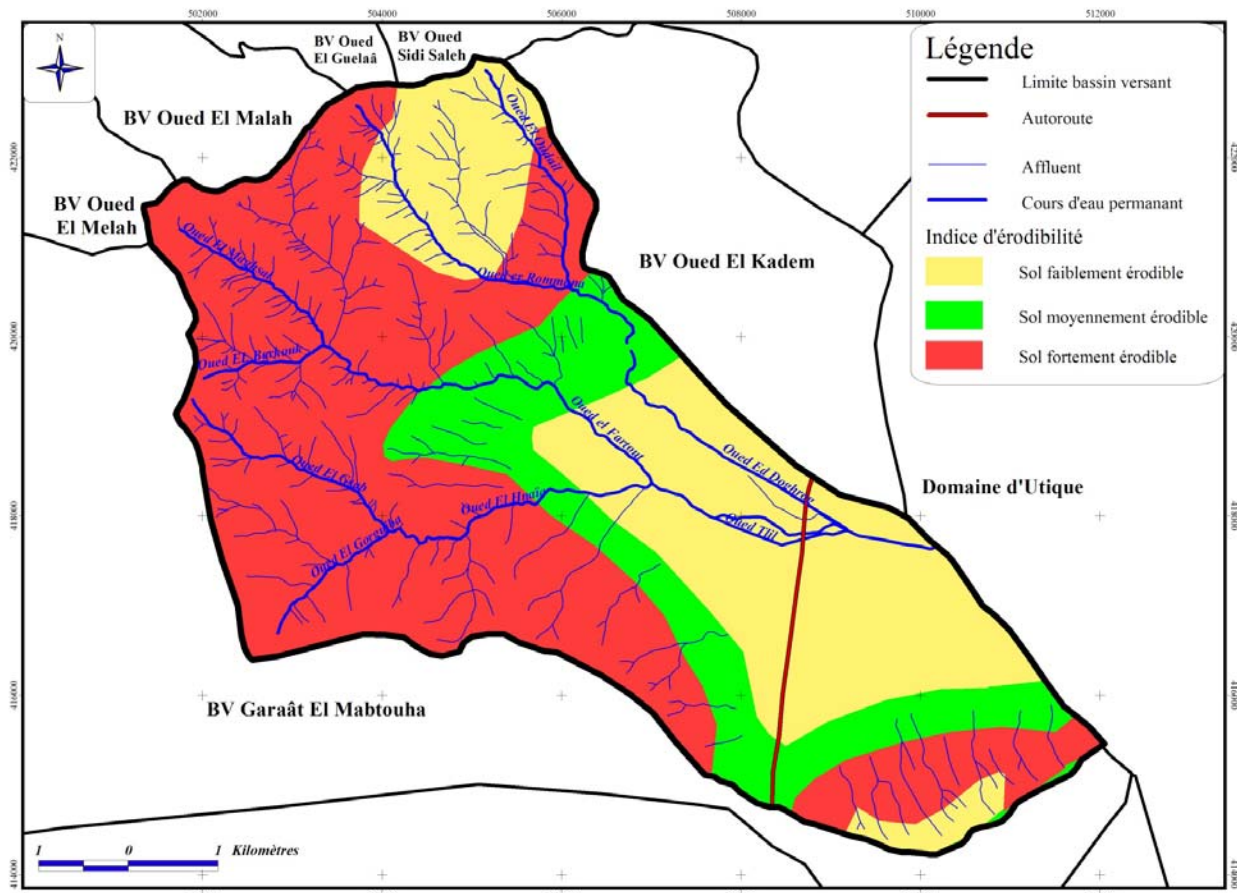


Figure 3 : Indice d'érodibilité des sols du bassin-versant d'oued Tlil

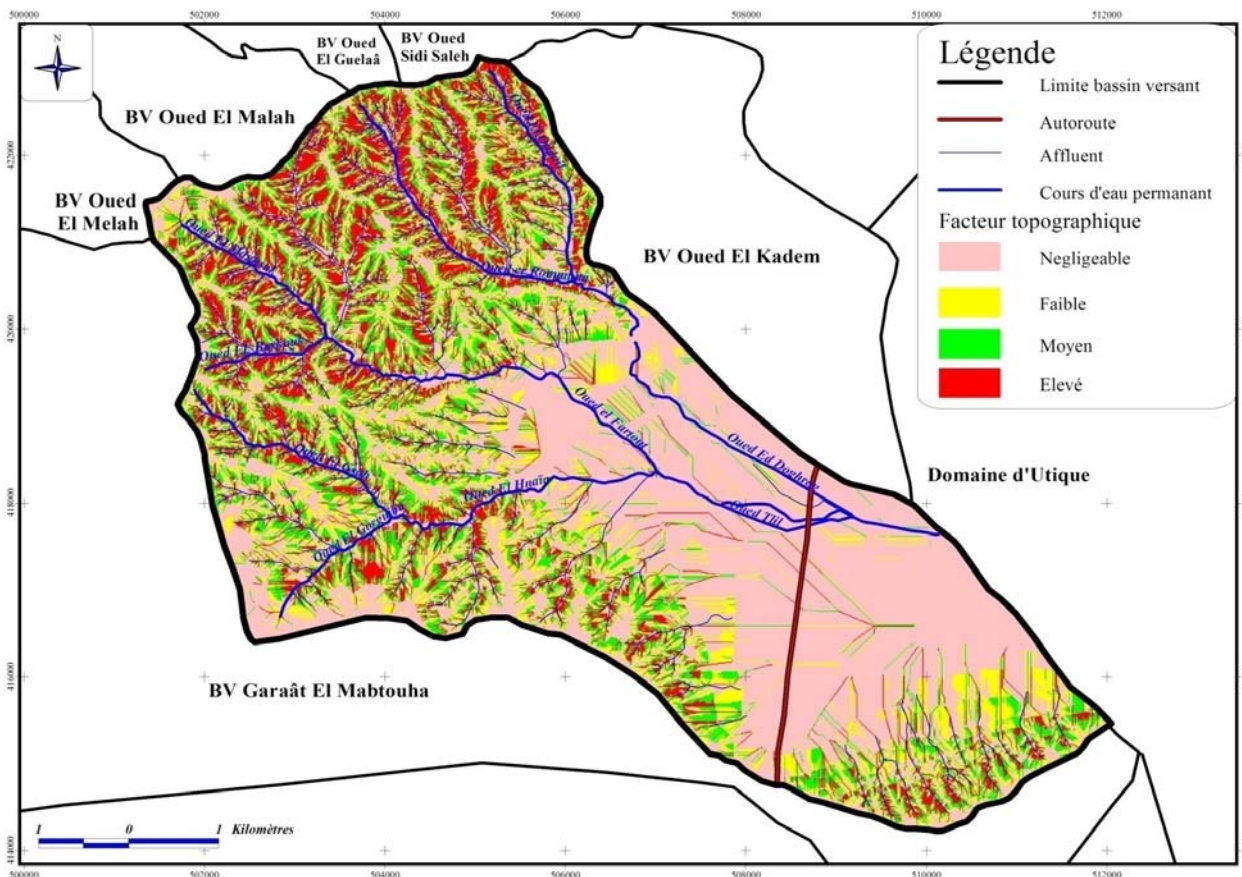


Figure 4 : Facteur topographique du bassin-versant d'oued Tlil

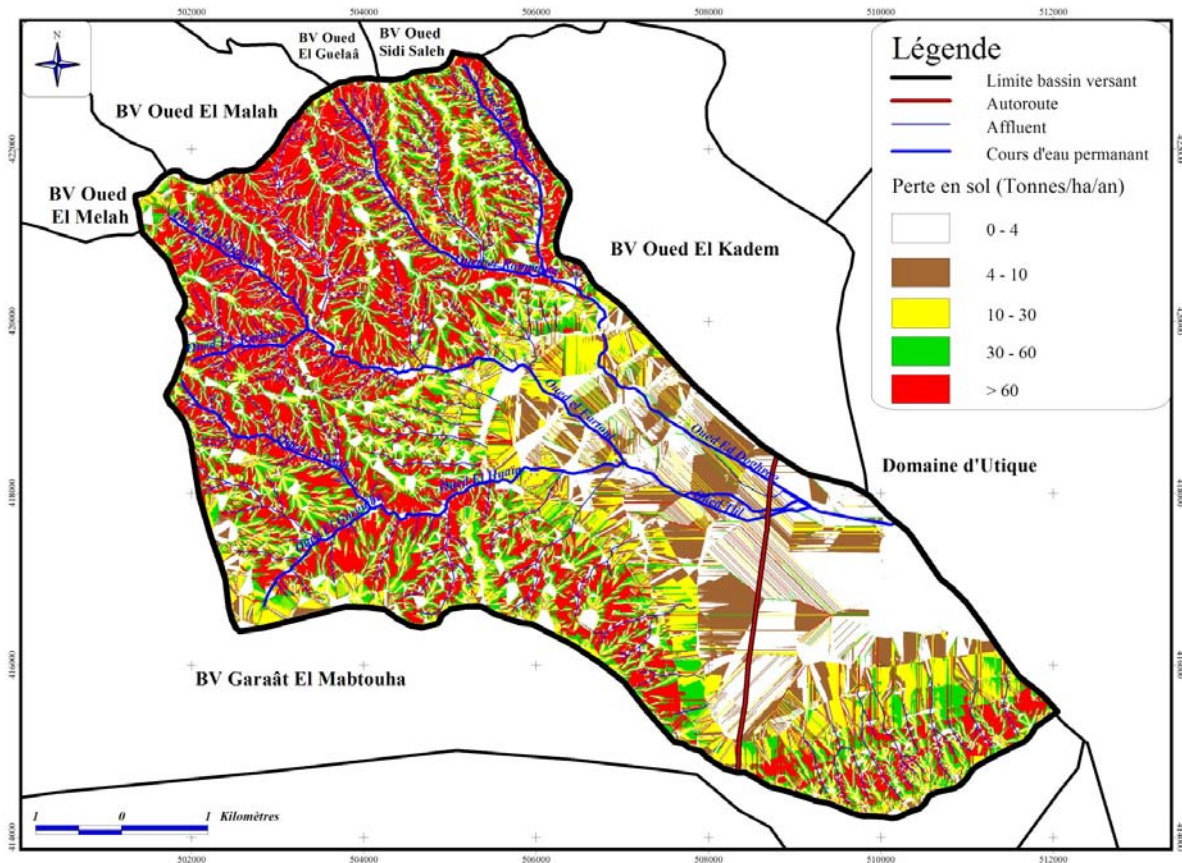


Figure 5 : L'érosion potentielle du bassin-versant d'oued Tlil

3.2. Érosion actuelle :

L'érosion actuelle est définie comme étant la perte en sol découlant de l'interaction des facteurs R, K, LS, C et P.

L'expression du calcul de

$$Aa = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P = Ap \cdot C \cdot P$$

Elle est donc fonction de l'érosion potentielle (A_p), du mode cultural (C) et des aménagements antiérosifs de la pente (P).

- **Le facteur cultural, C** (figure 6)

C'est un simple rapport des pertes de terre d'un sol dans un système de production sur les pertes de ce même sol traité en jachère nue continuellement travaillée.

Il prend en compte le fait que la pluie agit proportionnellement sur un sol nu que sur un sol couvert.

On confond dans le même facteur C, à la fois le couvert végétal, son niveau de production, les techniques culturales qui y sont associées, la qualité de la couverture et la croissance des racines, l'utilisation de l'eau par les plantes en cours de croissance et le mode des traitements des résidus. La détermination de ce facteur se base sur l'occupation des terres.

Les valeurs de C varient de 1 pour les sols nus à 0,001 pour les forêts denses et cultures paillées abondamment (Roose, 1994).

Le tableau 1 donne les valeurs de C de quelques cultures (Masson, 1971) selon des études adoptées en Tunisie.

Tableau 1 : Indice cultural C de quelques cultures (Masson, 1971)

Type de végétation	C
Terre nue, jachère nue	1
Arboriculture fruitière	0,9
Blé d'hiver	0,7
Assolement céréalière	0,4
Fourrages	0,2
Assolement céréalière + fourrages	0,1 à 0,01
Pâturages améliorés	0,01

Les valeurs de C adoptées pour le bassin-versant d'Oued Tlil proviennent à la fois du tableau 1 et des études sur les pertes en sol de Avenard en 1965.

Sol nu	C = 1
Les forêts	C = 0.055
Maquis et broussailles	C = 0.15
Arboriculture et olivier	C = 0.9
Parcours	C = 0.1
Terre de culture	C = 0.5

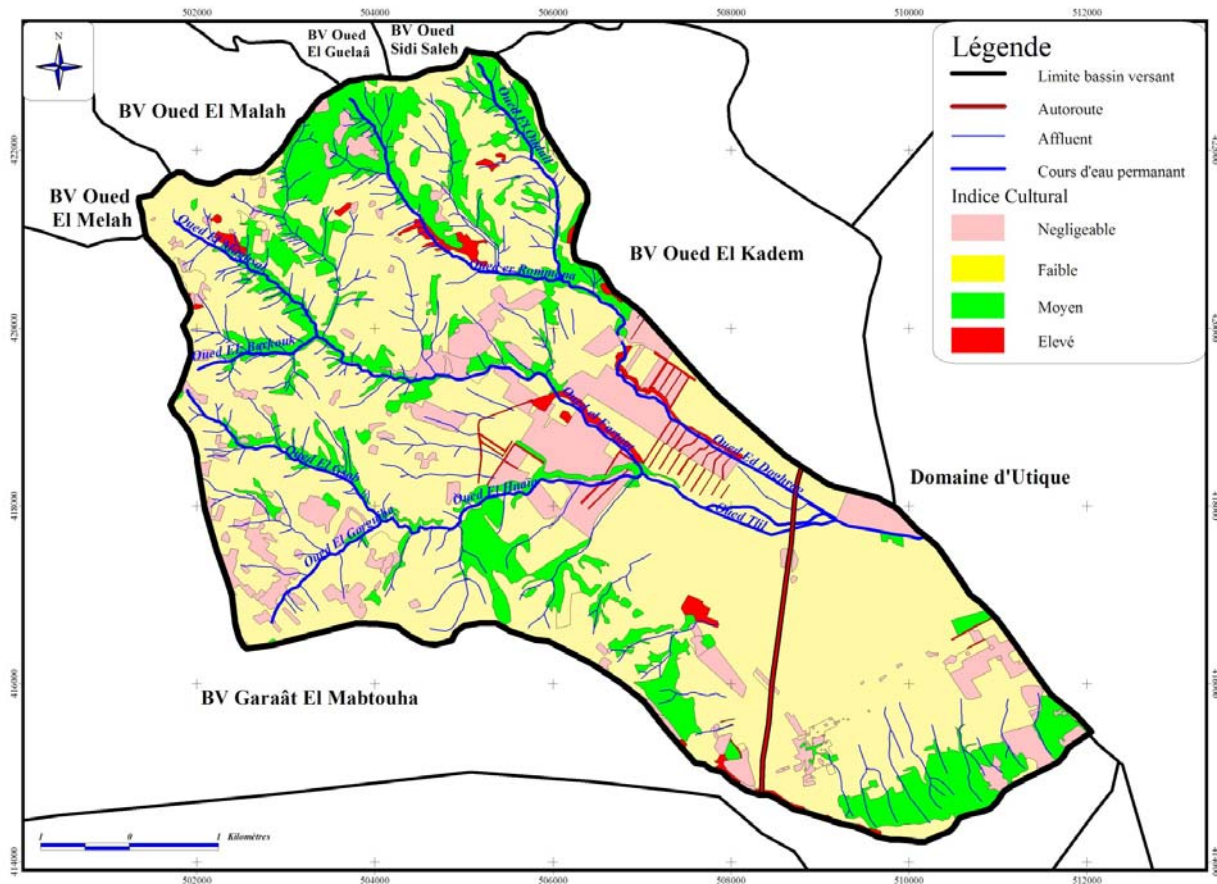


Figure 6 : Indice cultural du bassin-versant d'oued Tlil

- **Le facteur aménagement anti - érosif, P** (figure 7)

Le facteur anti – érosif P est déterminé à partir de la carte des aménagements existants. Il varie en fonction de l'aménagement effectué sur la pente et de la valeur de la pente elle même.

La cartographie des aménagements existants dans la région d'étude se fait sur la base des photos aériennes suivie d'une prospection de validation sur terrain.

Une fois les aménagements ont été cartographiés, on combine la carte des aménagements avec celle de la pente afin de déterminer sur quel niveau de pente l'aménagement en question a été effectué.

Les valeurs d'indice P retenues pour le bassin-versant d'Oued Tlil sont déterminées en se basant sur les études faites par la FAO en Tunisie en 1977 (tableau 2).

Tableau 2 : Valeurs d'indice P pour le bassin-versant d'Oued Tlil

Pente	Valeurs de P		
	Courbes de niveau	Bandes alternées	Non aménagée
0 – 2	0.45	0.2	1
2 – 8	0.5	0.25	1
8 – 12	0.6	0.30	1
12 – 18	0.8	0.40	1
18 – 24	0.9	0.45	1
> 24	0.95	0.5	1

La représentation cartographique de ce que pourrait être l'érosion actuelle (Aa) (figure 8) se fait par la combinaison des trois facteurs Ap, C et P selon l'expression suivante :

$$Aa = Ap \cdot C \cdot P$$

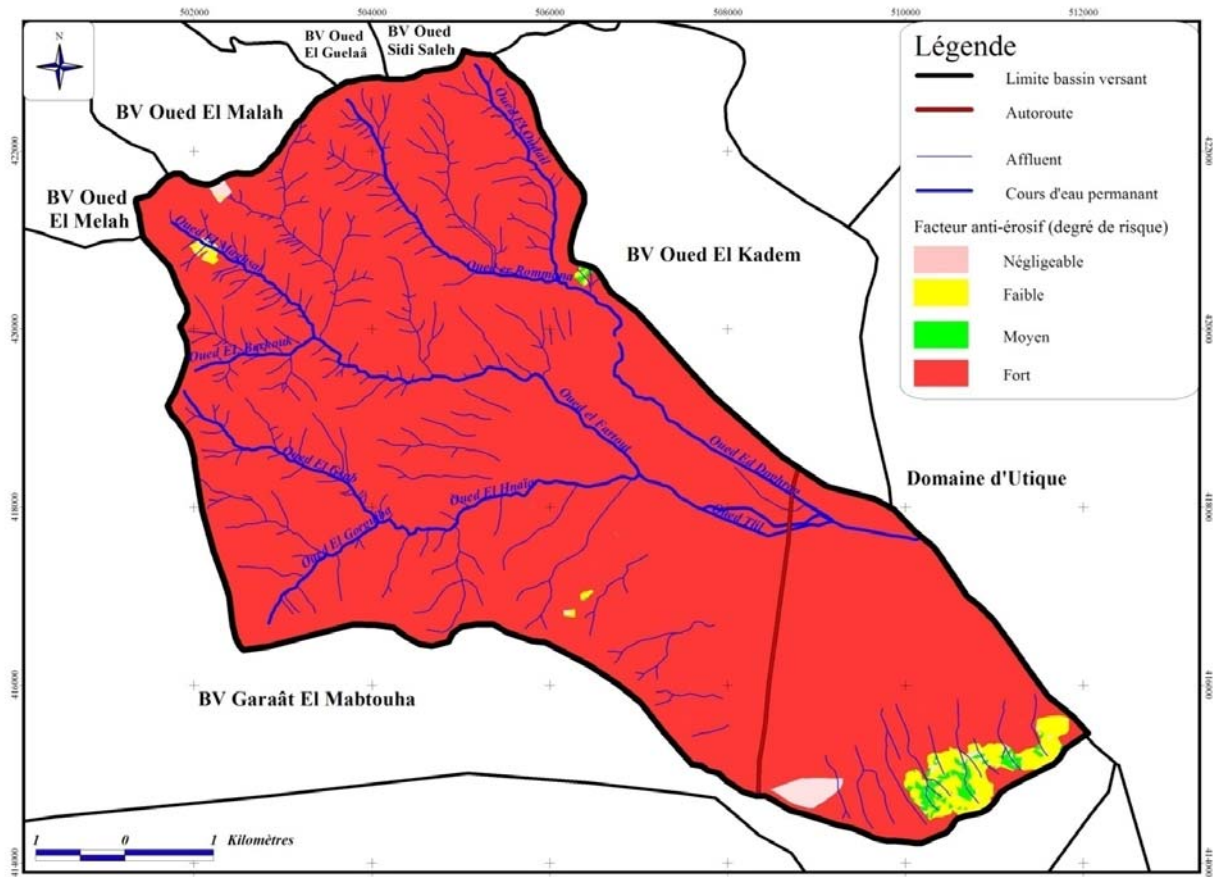


Figure 7 : Facteur aménagement anti-érosif du bassin-versant d'oued Tlil

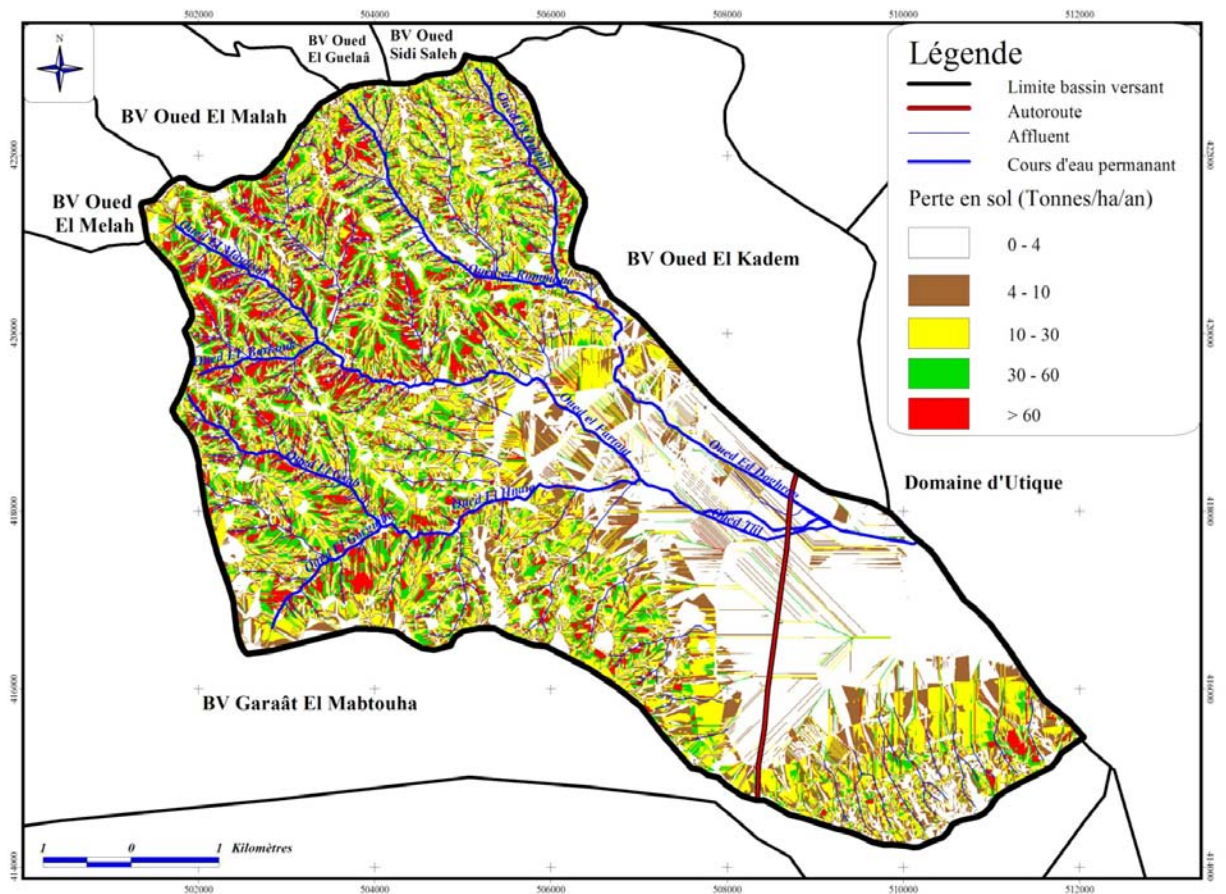


Figure 8 : Valeurs théoriques de l'érosion actuelle du bassin-versant d'oued Tlil selon la démarche adoptée

Conclusion :

L'érosion est un phénomène témoin d'une dégradation de la qualité du sol qui est un capital non renouvelable. Cette dégradation est considérée comme une perte économique. L'intervention pour tolérer cette perte doit se faire dans des contextes tenant compte des conditions naturelles et celles agro-socio-économiques.

La quantification des pertes en terre se fait par le biais des modèles de perte en sol. Dans notre travail, nous avons utilisé le modèle de Wischmeier qui devrait prédire les pertes en terre dues à l'érosion.

Cependant, ce modèle présente quelques limites, il ne tient compte que des pertes en sol dues à l'érosion en nappe et nécessite pour son application une base de données importante et mise à jour.

L'utilisation de la télédétection et des systèmes d'information géographique nous a permis de modéliser le phénomène de l'érosion à l'échelle d'un bassin versant. Cette modélisation a été faite sur la base des unités de taille égale à la résolution définie par les documents utilisés. Le choix de la résolution peut influencer la précision des résultats obtenus.

L'application du modèle de Wischmeier associé à l'utilisation des systèmes d'information géographique nous permet de prédire les pertes en sol d'un bassin versant soit par an, soit par cycle de rotation ou avec une périodicité de retour en X années.

Elle permet aussi de choisir les techniques culturales et les méthodes anti-érosives adaptées en tenant compte de la nature de risque (faible, fort ou très fort).

LA BIBLIOGRAPHIE

- AVENARD J. M., 1965, "la conservation et la restauration du sol", *Projet Sebou*, 47 - 68.
- CORMARY Y. et al, 1964, "Erosion, ruissellement, travail du sol : Résultats de 18 mois d'expérimentation sur parcelle", *C. E. S. D.* No 91, 22 p.
- DRE, 2010, *Précipitations enregistrées entre 1993 et 2006*.
- F.A.O., 1977, "Erosion et aménagement des bassins versants dans les pays méditerranéens.", *Terre, Eaux et Hommes*, No 30, Vol 9, 27- 45.
- GAMMAR A.M., 2002, *La carte de végétation de la Tunisie au 1/ 2000000*.
- GOUNOT M. et Le HOUEROU H.N., 1955, *La carte des étages bioclimatiques de la Tunisie*.
- JAUZEIN A., 1967, "Contribution à l'étude géologique des confins de la dorsale tunisienne", *Anales des Mines et de la Géologie*, No 22, 470 p.
- MASSON J. M., 1971, *L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthode expérimentale pour l'étude des quantités érodées à l'échelle du champ*. Thèse, Université des Sciences et Techniques de Languedoc, 213 p.
- ROOSE E., 1994, "Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) », *Bulletin pédologique de la F.A.O.*, No 70, Rome, 420 p.
- Erosion en nappe et ruissellement en montagne méditerranéenne algérienne : Réduction des risques érosifs et intensification de la production agricole par la GCES» Cah ORSTOM PEDOL , 28, 2une synthèse sur 50 parcelles pdt dix ans par équipe INRF
- SAMAALI H., 2011 *Etude de l'évolution de l'occupation et de l'utilisation du sol dans le delta de Mejerda par télédétection et systèmes d'informations géographiques (SIG)*, Thèse de doctorat, Faculté des Sciences humaines et Sociales de Tunis, 377 p.
- WISCHMEIER W. H. and SMITH D. D., 1978, "Predicting rainfall erosion losses :A guide to conservation planning", U.S.D.A, *Agricultural handbook*, No 537, 58 p.
- WISCHMEIER W. H., JOHNSON C. B. and CROSS B. V., 1971, "A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites" *Journal of soil and water conservation*, vol. 26, 189 -193.

¹ Office de Développement Sylvo-Pastoral du Nord Ouest, Ministère de l'Agriculture et de l'Environnement

² UR: Géomatique & Géosystèmes, Faculté des Lettres, des Arts et des Humanités. Campus Universitaire, 2010 Manouba

³ Département de Géographie ; Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis