Geo-Eco-Trop., 2020, 44, 4 : 595-607

Étude du risque d'érosion hydrique des sols dans la région de Tlemcen, Algérie

Study of soil water erosion risk in the region of Tlemcen, Algeria

Mostafia BOUGHALEM [1*], Anișoara Aurelia IENCIU [2], Abdoulkadri Oumarou TOURE [3], Maamar MEGHRAOUI [4], Mohamed REGAGBA [4], Zahira SOUIDI [5], Abderrahmane HAMIMED [5]

Abstract: Located in the Northwest region of Algeria, the Isser watershed is an area weakened by drought episodes and characterized by marl outcrops and very fragile clays. It is highly sensitive to water erosion. The purpose of this research is to provide essential elements for mapping the soils vulnerability to water erosion. The approach requires the analysis of the four factors determining erosion: lithology, topography, precipitation and vegetation cover. The thematic maps related to these factors are integrated in a geographic information system (GIS) by means of an additive combination to establish a map of vulnerability to water erosion. The resulting map, validated by field observations, reveals 3 major regions with different degrees of vulnerability: i) strong to very strong mainly located in the center and the north of the watershed; ii) medium, especially in the north and over part of the south of the basin and iii) weak or null over the entire watershed in areas rich in biomass.

Keywords: erosion, soil vulnerability, mapping, Isser, Algeria.

Résumé : Localisé dans le nord-ouest algérien, le bassin versant de l'Isser est un espace fragilisé par les épisodes de sécheresse et caractérisé par des affleurements de marnes et d'argiles très fragiles. Il présente une forte sensibilité à l'érosion hydrique. L'objectif de cette étude est de fournir des éléments essentiels pour cartographier la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique. L'approche passe par l'analyse de quatre facteurs contrôlant l'érosion : la lithologie, la topographie, les précipitations et le couvert végétal. Les cartes thématiques relatives à ces facteurs sont intégrées dans un système d'information géographique (SIG) à l'aide d'une combinaison additive pour établir une carte de vulnérabilité à l'érosion hydrique. La carte obtenue, validée par des observations de terrain, permet de mettre en évidence trois grandes régions de vulnérabilités : i) forte à très forte principalement localisée au centre et au nord du bassin ; ii) moyenne, essentiellement au nord et sur une partie du sud du bassin ; et iii) faible ou nulle sur la totalité du bassin versant dans les secteurs riches en biomasse.

Mots-clefs : érosion, vulnérabilité des sols, cartographie, Isser, Algérie.

INTRODUCTION

En Algérie, l'érosion sans cesse croissante dans les milieux montagneux entraîne la dégradation des conditions de vie des riverains et des conséquences désastreuses (MEDDI *et al.*, 2005). En plus des dommages socio-économiques et des inondations qui menacent les populations et les infrastructures (ROOSE *et al.*, 2010), ce phénomène réduit la capacité de détention des eaux dans les barrages. Les pertes annuelles des eaux sont estimées à environ 20 millions de m^3 dues à l'envasement (REMINI, 2000). La modélisation et la cartographie des potentiels risques de l'érosion hydrique des sols est d'une grande importance dans la gestion et l'aménagement des bassins versants. Par ailleurs, l'apport des aménagements agro-sylvo-pastoraux dans les bassins versants où les risques d'érosion sont les plus intenses aura d'autant plus d'efficacité que les facteurs du milieu naturel sont bien connus. Or, les problèmes de dégradation des sols ne se posent pas avec la même acuité dans les différentes parties de la zone (BOUGHALEM *et al.*, 2012). C'est pourquoi il est utile de délimiter des zones d'aménagements prioritaires.

[1] Institut des sciences, Laboratory of Applied Hydrology and environment, Ctr Univ Ain Temouchent. Algérie.
[2] Faculté d'Agriculture, Université du Banat, Roumanie.
[3] Faculté d'Histoire et Géographie, Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako. Mali.
[4] Institut national de la recherche forestière Tlemcen, Algérie.
[5] Laboratoire LRSBG, Université de Mascara, Algérie
* Auteur correspondant. Email : boughalem_2000@yahoo.fr

Dans ce contexte, la présente étude a pour objet la réalisation d'une carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique sur le bassin versant de l'Isser. L'érosion des sols dépend d'une multiplicité de facteurs interagissant entre eux, et sont de ce fait complexes à modéliser. Pour le présent travail, quatre facteurs principaux ont été étudiés : le climat (précipitations), la topographie, la lithologie et le couvert végétal. Ce choix est fait en nous appuyant sur des études régionales (ROOSE, 1996 ; MORSLI *et al.*, 2004 ; BOUGHALEM *et al.*, 2012) à travers lesquelles plusieurs auteurs s'accordent pour considérer ces mêmes facteurs comme étant les plus pertinents et les plus discriminants.

En effet, la pluie est reconnue depuis longtemps comme un agent essentiel de l'érosion des sols (EKERN, 1950). L'énergie de l'eau apportée par les gouttes de pluie est à l'origine de la déstructuration des agrégats présents à la surface du sol (BOIFFIN, 1976), du détachement de fragments de sol et de leur transfert par rejaillissement à faible distance des points d'impact (BRADFORD & HUANG, 1996). La prise en compte des précipitations est indispensable dans l'étude du processus d'érosion. Ainsi, les versants exposés aux précipitations seront plus érodables que les versants moins exposés (VALENTIN *et al.*, 2005 ; BOUKHEIR *et al.*, 2001). Pour la zone d'étude, les versants nord sont plus arrosés que les versants sud. Les mois les plus pluvieux de l'année sont généralement décembre, janvier et février. La pluviosité moyenne varie autour de 530 mm et on peut enregistrer tous les dix ans des pluies de 100 mm/jour au printemps (MAZOUR, 1992 ; CHEBBANI *et al*., 1995).

De même, le couvert végétal joue un rôle modérateur dans les manifestations de l'érosion hydrique et dans les instabilités des versants. Il protège le sol contre la battance des pluies faisant obstacle au ruissellement (CERDA, 1999). En outre, la végétation intervient sur le volume ruisselé assurant une amélioration du bilan hydrique et des propriétés physiques du sol (BERGKAMP *et al*., 1996). L'absence du couvert végétal expose le sol à l'action directe des gouttes de pluie. Ainsi le phénomène d'érosion se manifeste sur le bassin versant de l'Isser chaque année pendant les épisodes pluvieux hivernaux, lorsque les sols sont encore peu couverts, ou lors des violents orages de fin d'été et d'automne sur des sols que les récoltes laissent également peu couverts.

La lithologie est, par ailleurs, considérée comme le facteur principal contrôlant la stabilité des versants. D'après DEMMAK (1982), il y a une relation étroite entre le type d'érosion, les transports de sédiments et la lithologie. Là où les roches sont résistantes, on trouve les pentes les plus fortes, les couverts végétaux denses et les transports de sédiments faibles ; mais sur les roches argileuses tendres et les marnes on peut trouver des pentes relativement modérées, des activités humaines intenses, une végétation peu dense et des transports abondants de sédiments (HEUSCH, 1970). Ce sont les zones marneuses du Miocène au nord du bassin qui sont les plus exposées aux différents processus d'érosion. Sur ces terrains, les pertes en matériaux terrigènes croissent de manière exponentielle avec l'inclinaison de la pente (HUDSON, 1973). Selon ROOSE (1994), la longueur de la pente est moins importante que son inclinaison et sa forme.

L'interaction entre les variables d'analyse est connue à diverses échelles et selon diverses méthodes. Dans ce travail, nous avons voulu tester une démarche méthodologique simple, basée sur l'intégration et le traitement des données par les procédures de superposition des SIG. Il en découle la production d'une carte faisant ressortir les secteurs nécessitant une intervention prioritaire dans une perspective de gestion durable des sols.

CADRE DE L'ETUDE

Le bassin versant de l'oued Isser se situe au nord-ouest algérien, entre les longitudes 1°20'31'' et 0°52'28'' W et les latitudes 34°41'22'' et 35°09'37'' N. Il s'étend sur une superficie de 1122 km² pour un périmètre de 207,7 km (Fig. 1).

Le climat régional est de type méditerranéen semi-aride à hiver tempéré marqué par deux saisons : l'une froide et pluvieuse, s'étalant de début novembre à mi-mars et l'autre chaude et sèche qui débute vers mi-mars jusqu'au début novembre. Les pluies sont déterminées par une irrégularité spatio-temporelle et par un régime de courte durée et à forte intensité.

Le réseau hydrographique du bassin versant est dense. Il est composé d'un oued principal (oued Isser) et d'une série de tributaires : oued Chouli, oued Fernan, oued Ben Hadi et oued Beniane. Affluent rive droite de la Tafna, l'oued Isser est long de 81 km. Il prend sa source à Ain Isser au sud de l'oued Mimoun. Il est caractérisé par un relief très escarpé et fortement disséqué. La lithologie est définie par

des roches tendres (marnes et grès tendres) avec intercalations de roches dures (calcaires), ce qui prédispose ces zones aux différents processus d'érosion (BOUGHALEM *et al.*, 2013). Le paysage est complexe et se compose d'une mosaïque d'unités réagissant différemment aux actions érosives de l'eau (Fig. 2). La zone nord du bassin est à vocation céréalière (notamment blé et orge). Sur le massif rocheux du Jurassique subsistent encore quelques forêts (Zerdeb et Fougahal). Par ailleurs, la superficie occupée par un couvert forestier dégradé ou mort représente 39 % de la surface totale du bassin.

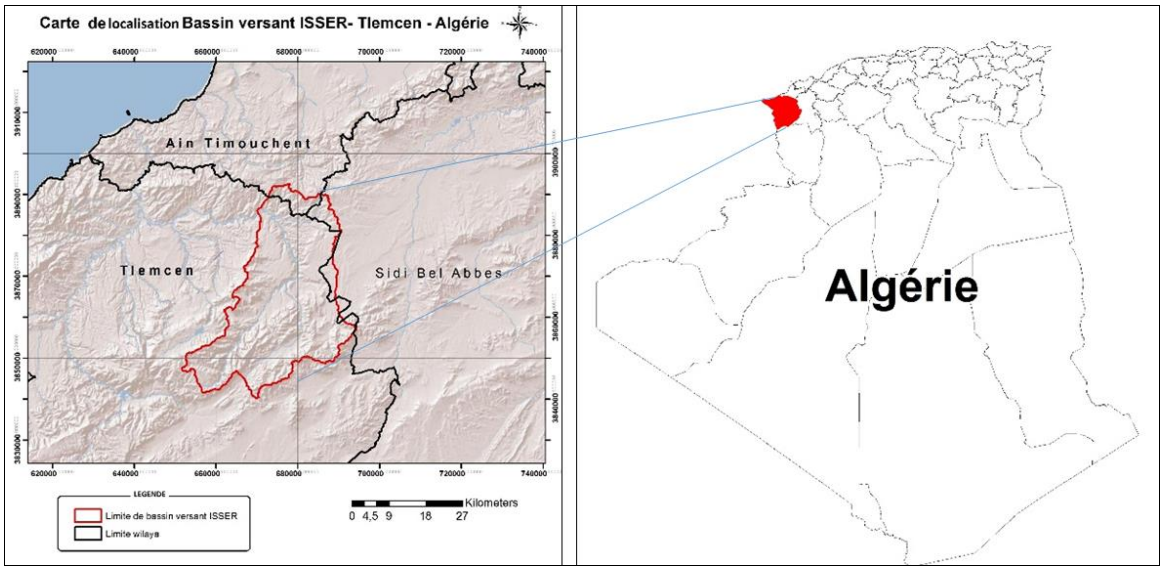

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude.

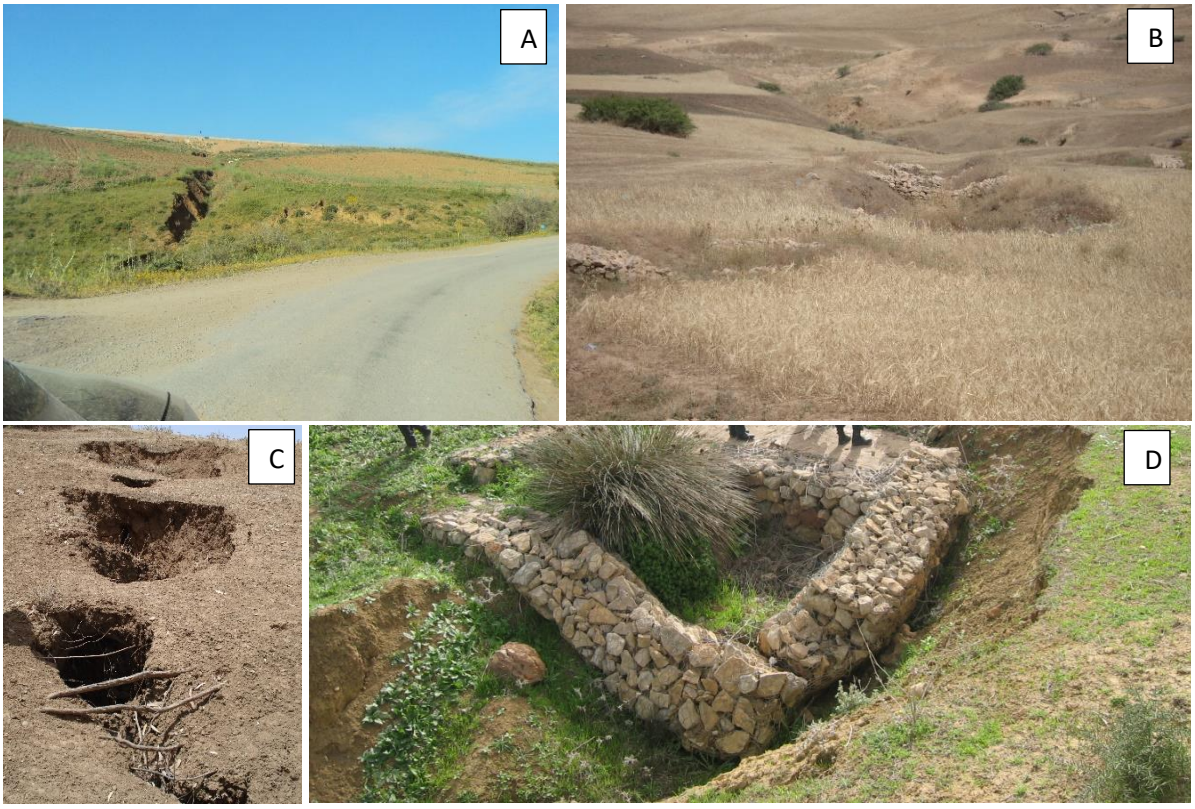

Figure 2 : Impacts de l'érosion dans le bassin de l'Isser.
A : érosion hydrique en ravines ; B : zone de décapage et d'érosion sélective ; C : phénomène de soutirage ; D : seuil de correction torrentielle en terre inadapté en terrains marneux.

MATERIEL ET METHODES

L'approche méthodologique repose sur le croisement des cartes thématiques réalisé à l'aide d'un système d'information géographique (SIG) qui offre la possibilité de croiser les différentes caractéristiques, physiques et agronomiques des parcelles selon une démarche méthodologique comprenant deux étapes :
– élaboration de cartes thématiques ;
– croisement des cartes thématiques.

Elaboration des cartes thématiques

Facteurs extrinsèques

- **Erosivité des pluies (R)**

Le pouvoir érosif dépend de l'intensité de la pluie. Plus l'intensité est forte, plus le risque érosif est élevé. Les données pluviométriques mensuelles et annuelles sur une période de 42 ans (1970-2011) de 17 stations pluviométriques situées dans le bassin et ses environs immédiats (Tab. 1) ont été utilisées pour calculer le facteur R en utilisant l'équation suivante développée par WISCHMEIER et SMITH (1978) et modifiée par ARNOLDUS (1980) :

$$R = \sum_{i=1}^{12} 1{,}735 \times 10^{\left(1{,}5 \log_{10}\left(\frac{P_i^2}{P_m}\right) - 0{,}08188\right)}$$

où R est le facteur d'érosivité des précipitations ($MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.année^{-1}$), P_i est la pluviométrie moyenne mensuelle (mm), et P_m est la pluviométrie moyenne annuelle (mm).

Les données ponctuelles de l'érosivité des pluies ont ensuite été spatialisées, par interpolation, à l'échelle du territoire d'une manière automatique en combinant trois facteurs : l'altitude, l'exposition et l'éloignement par rapport à la mer. La carte d'érosivité des pluies obtenue (Fig. 3) permet de délimiter quatre classes d'érosivité codées de 1 à 4 en fonction de leur agressivité (Tab. 2).

Tableau 1 : Pluviométrie moyenne (1970-2011) annuelle, altitude, exposition et distance à la mer des 17 stations pluviométriques utilisées dans cette étude.

Station	Code	Pluies annuelles (mm)	Altitude (m)	Exposition (degré)	Distance à la mer (km)
B-Bahdell	16 04 03	394,9	643	130,93	51,9
Khemis	16 04 06	367,7	894	336,91	56,5
Chouly	16 06 01	383,5	772	30,92	53,8
Meurbah	16 06 02	357,9	1118	119,54	63,7
O. Mimoun	16 06 07	318,5	717	14,57	53,3
S. Gourari	16 06 08	391,6	970	159,62	61,7
B. Nakhala	16 06 10	333,2	429	231,53	40,3
B. Badis	11 03 07	318,1	726	325,83	55,3
L. Setti	16 07 05	498,2	995	5,34	45,6
Mefrouch	16 07 01	550,2	1108	91,65	47,8
S. Heriz	16 06 09	322,0	530	345,20	42,9
S. Mdjahed	16 04 07	268,4	391	306,96	39,2
Sebdou	16 04 01	362,0	880	328,67	64,1
H. Boughrara	16 05 01	216,5	253	130,30	28,3
Sabra	16 05 02	368,3	620	54,99	38,7
Hennaya	16 05 16	379,0	520	83,12	36,2
Bensekrane	16 07 02	351,1	248	300,19	28,3

Tableau 2 : Classification des pluies en fonction de leur effet sur l'érosion.

Classe	Erosivité	Limites des classes MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.année^{-1}	Surface (%)	Effet sur l'érosion
1	Faible	517-800	43,58	Faible
2	Moyenne	800-1100	30,26	Modéré
3	Forte	1100-1400	18,49	Fort
4	Très forte	1400-1800	7,67	Très fort

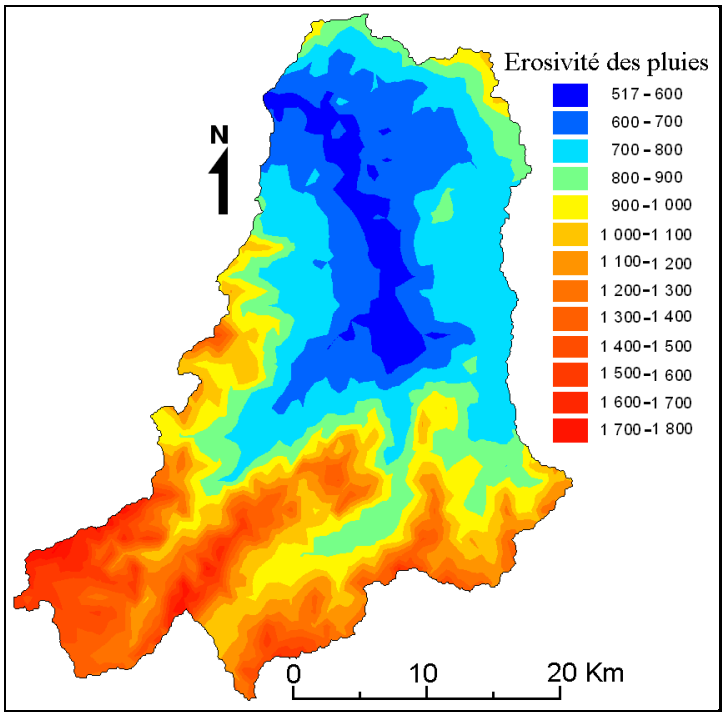

Figure 3 : Carte d'érosivité des pluies au niveau du bassin versant de l'Isser.

- **Topographie**

Le facteur topographique est le produit de deux sous-facteurs : la longueur de la pente et le gradient de la pente. Ils sont calculés à partir du modèle numérique d'altitude (MNA). Dans cette étude, la longueur de la pente n'a pas pu être prise en compte. BOUKHEIR *et al*. (2001) signalent que dès que la pente est suffisante pour permettre à l'eau de ruisseler, le terrain est vulnérable à l'érosion hydrique.

De par son caractère montagneux, la région présente des conditions topographiques favorables à l'érosion. La carte des pentes (Fig. 4) générée à partir du MNA montre que les pentes modérées ainsi que les pentes faibles à très faibles sont réparties sur l'ensemble du bassin versant. Les pentes les plus abruptes, fortes à très fortes se concentrent dans les parties nord-ouest et sud du bassin. Elles sont caractérisées par un relief accidenté. La zone d'étude présente un large éventail de valeurs de pentes allant de 0,3% à 80%. Ces dernières ont été regroupées en quatre classes (Tab. 3). Les seuils des classes ont été choisis en fonction des connaissances de terrain ou de valeurs proposées dans la littérature (CHAPLOT & LE BISSONNAIS, 1999). Le tableau 3 fournit les caractéristiques des classes pour chacun des trois facteurs principaux engendrant le phénomène d'érosion.

Tableau 3 : Classification des pentes en fonction de leur effet sur l'érosion.

Classe	Limites des pentes (%)	Signification	Nature de relief	Surface (%)	Effet sur l'érosion
1	0-5	Pente faible	Plaines, terrasses alluviales et replats structuraux	27,04	Faible
2	5-15	Pente moyenne	Zone de piémont, relief de glacis, collines	39,27	Modéré
3	15-25	Pente forte	Zone mixte (haut de piémont et montagnes)	26,61	Fort
4	>25	Pente très forte	Relief moyennement accidenté à accidenté et escarpements rocheux	7,08	Très fort

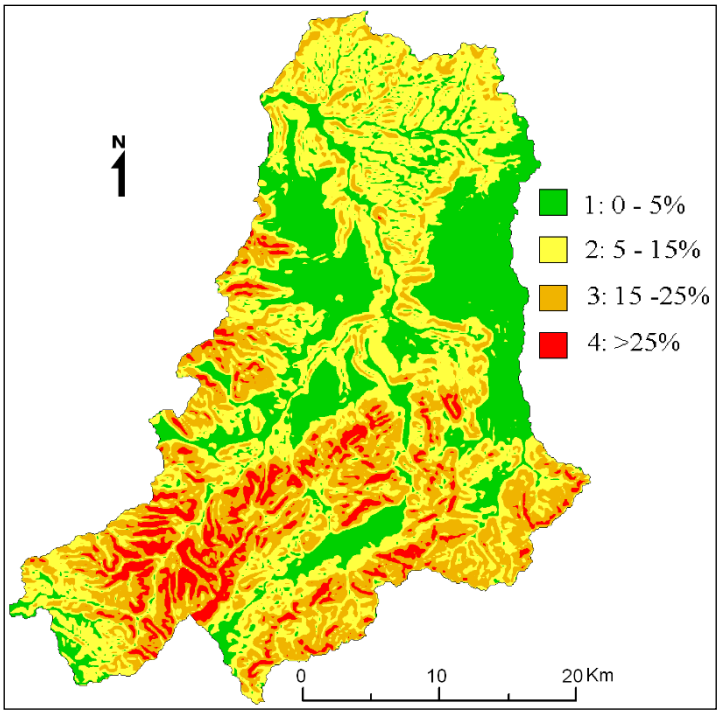

Figure 4 : Carte des pentes du bassin versant de l'Isser.

- **Couvert végétal**

La carte d'occupation du sol a été obtenue par classification supervisée (maximum de vraisemblance) des bandes optiques (1, 2, 3, 4, 5 et 7) de l'image Landsat-5 TM avec la résolution spatiale de 30 m. Cette image a été acquise au printemps (11 mars 2009), correspondant au maximum de production de la biomasse végétale. L'exploitation de ces bandes dans cette classification supervisée sous Erdas imagine a abouti à la sectorisation de neuf types d'occupation du sol (Fig. 5). À la suite des observations de terrain, cette carte laisse apparaître quatre classes de couverture végétale, codées de 1 à 4, en fonction de leur capacité de protection du sol à l'érosion (Tab. 4).

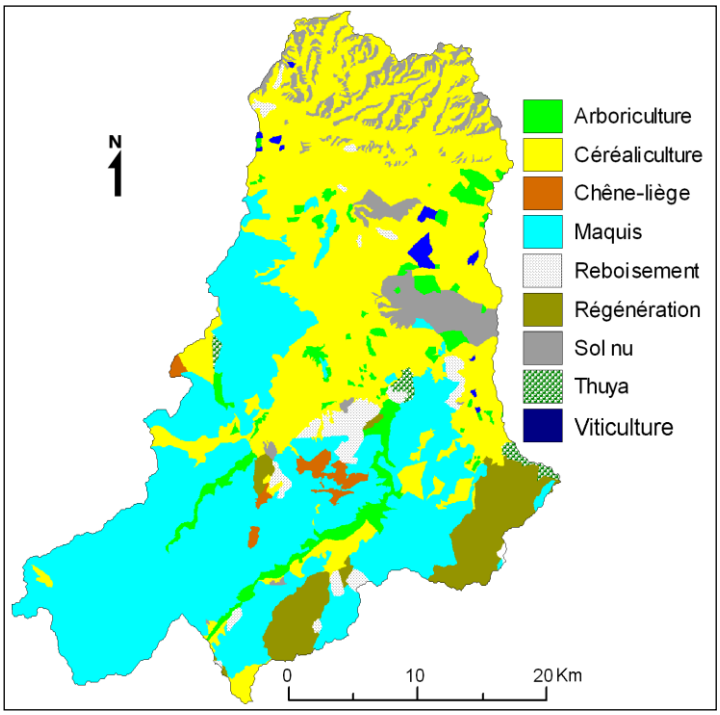

Figure 5 : Carte du couvert végétal du bassin versant de l'Isser.

Tableau 4 : Classes de couverture végétale en fonction de leur protection du sol à l'érosion.

Classe	Nature du couvert végétal	Signification	Surface (%)	Effet sur l'érosion
1	Chêne-liège, thuya, maquis et reboisements	Protecteur	50,49	Faible
2	Arboriculture et viticulture	Moyennement protecteur	5,12	Modéré
3	Céréaliculture et régénération	Peu protecteur	37,76	Fort
4	Sol nu	Non protecteur	6,63	Très fort

Facteur intrinsèque

- **Lithologie**

Le facteur lithologique se différencie des trois autres facteurs cités précédemment en ce sens que le sol subit les effets des facteurs érosifs et réagit en fonction de sa nature en accentuant ou en atténuant ces effets. La carte lithologique (Fig. 6) est obtenue par digitalisation des cartes géologiques (Beni Smaiel, Bensakrane, Terni, Sidi Boussidi, Ouled Mimoune et Tlemcen). Cette carte montre que sur toute la partie sud du bassin versant affleurent des calcaires d'âge jurassique qui s'étendent dans la direction nord. A l'est, sont localisées des alluvions sur des terrasses du Pliocène. Dans la partie nord, les versants sont constitués de substrats tendres (marnes) avec intercalations gréseuses ; ils ont une forme concavo-convexe et occupent la plus grande partie du relief. Notre connaissance du terrain et l'analyse de la carte géologique nous ont permis de distinguer quatre classes de matériaux affleurant « très résistant, résistant, vulnérable et très vulnérable » (Tab. 5).

Tableau 5 : Classes des sols en fonction de leur érodibilité.

Classe	Nature du sol	Signification	Surface (%)	Erodibilité
1	Bancs de dolomie, calcaires sublithographiques	Très résistant	68,24	Faible
2	Grès et poudingues	Résistant	0,93	Modérée
3	Alluvions pliocènes, alluvions anciennes	Vulnérable	22,52	Forte
4	Marnes, argiles gypsifères, argile et grès	Très vulnérable	8,31	Très forte

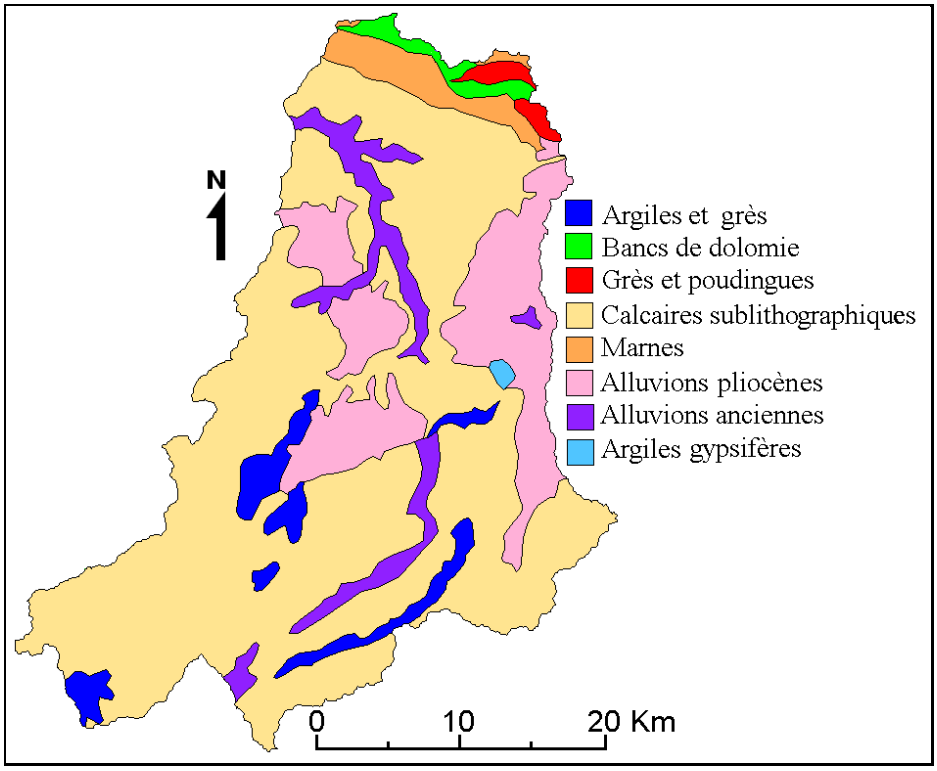

Figure 6 : Carte lithologique du bassin versant de l'Isser.

Croisement des cartes thématiques

La carte de sensibilité des sols à l'érosion hydrique est obtenue par le croisement des cartes thématiques relatives aux quatre facteurs étudiés, à savoir le climat (érosivité des pluies), la topographie, la lithologie et le couvert végétal. Le croisement spatial a été réalisé grâce au logiciel ArcGis 10.3, après avoir géoréférencé les données cartographiques selon la projection conique adéquate de Lambert et les avoir calées selon les coordonnées de la zone d'étude. La combinaison des facteurs d'érosion hydrique est réalisée en trois étapes. Un récapitulatif de la méthodologie adoptée est décrite selon le tableau 6 et dans l'organigramme présenté à la figure 10.

Tableau 6 : Croisement des cartes thématiques.

Lithologie / Erosivité	1	2	3	4
1	1	1	2	2
2	1	1	2	3
3	2	2	3	4
4	2	3	4	4

Litho-climat / Pente	1	2	3	4
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	1	2	3	4
4	2	3	4	4

Topo-litho-climat / Végétation	1	2	3	4
1	1	1	2	3
2	1	2	3	4
3	2	3	4	4
4	2	4	4	4

Croisement des cartes thématiques (érosivité et lithologie) (Tab. 6).

La carte obtenue de ce croisement (litho-climat) met en évidence quatre classes de vulnérabilité allant de faible à très forte (Fig. 7).

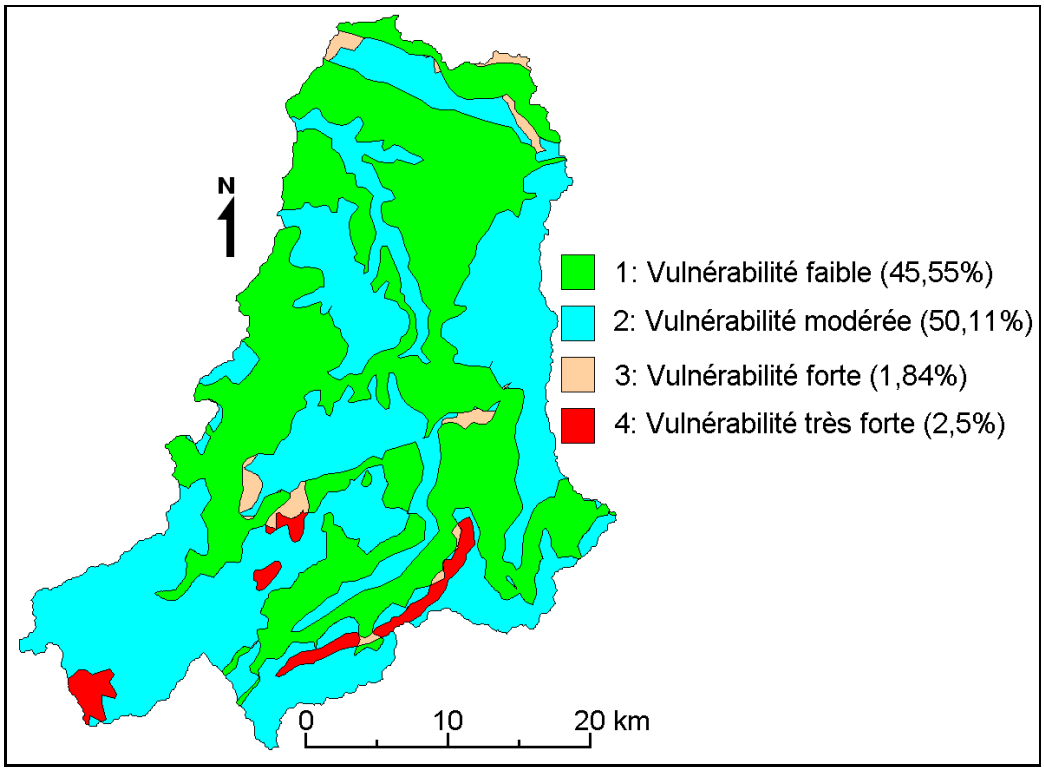

Figure 7 : Carte litho-climat.

Croisement de la carte (litho-climat) avec le facteur pente (Tab. 6).

Il en découle la carte (topo-litho-climat), laissant apparaitre quatre nouvelles classes de vulnérabilité allant de faible à très forte (Fig. 8).

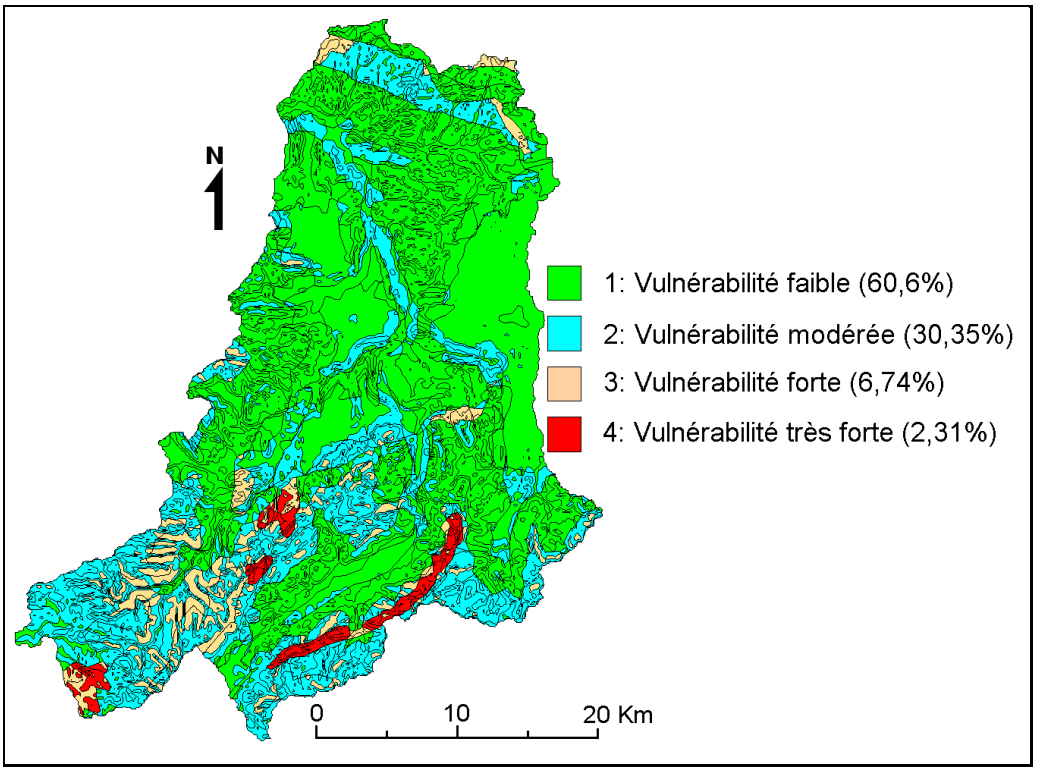

Figure 8 : Carte topo-litho-climat.

Croisement de la carte (topo-litho-climat) avec le facteur couvert végétal (Tab. 6).

Ce croisement ultime donne naissance à la carte de la vulnérabilité multifactorielle des sols à l'érosion hydrique, mettant en évidence quatre classes de vulnérabilité allant de faible à très forte (Fig. 9).

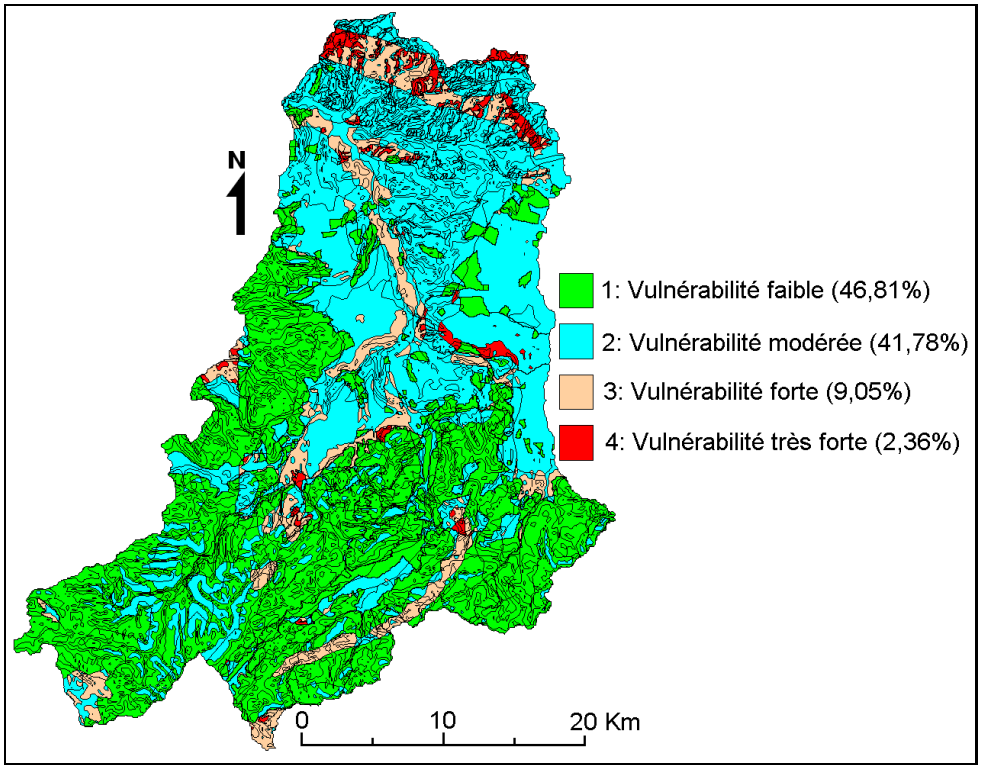

Figure 9 : Carte de vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique.

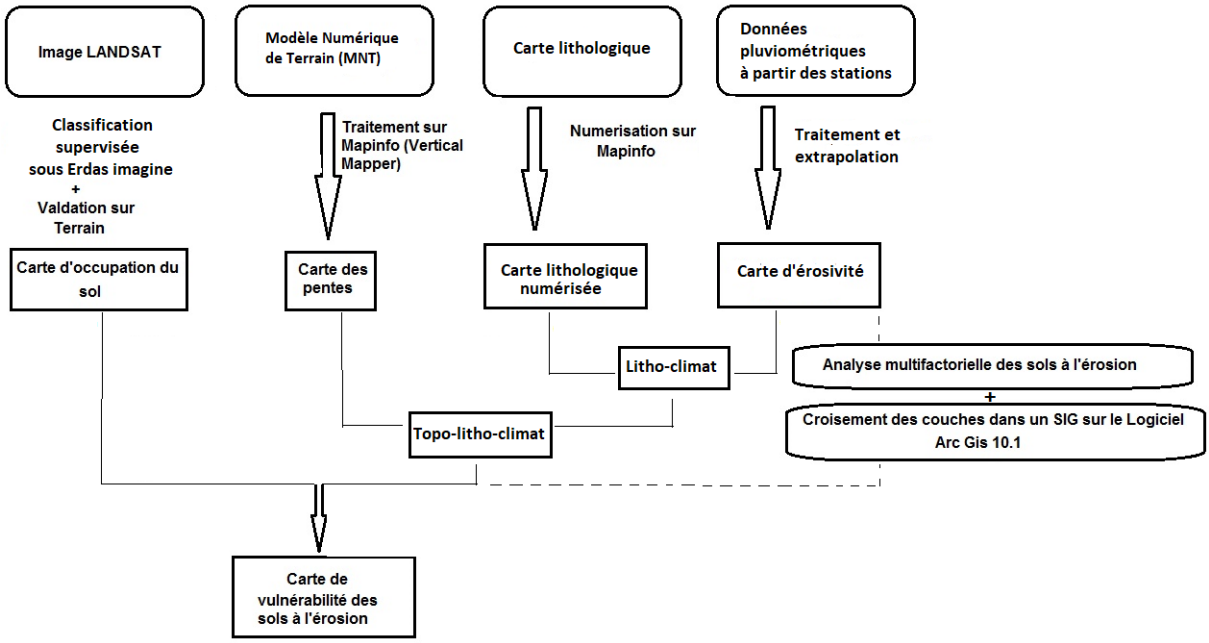

Figure 10 : Les étapes de cartographie de la vulnérabilité des sols à l'érosion hydrique.

RESULTATS ET DISCUSSION

La vulnérabilité des sols peut être définie comme leur fragilité face aux agressions extérieures. Elle dépend de plusieurs facteurs intrinsèques et extrinsèques.

La figure 3 concerne l'impact de l'érosivité des précipitations sur la vulnérabilité. La classe d'érosivité très forte (1400-1800) se concentre au sud-ouest du bassin versant, les classes d'érosivité faible (517-800) et modérée (800-1100) couvrent plutôt le centre et la partie nord du bassin. La classe d'érosivité forte (1100-1400), quant à elle, est répartie sur le sud et une partie du centre du bassin.

Pour le facteur pente (Fig. 4), l'hétérogénéité apparait sur l'ensemble du bassin. Toutefois, la classe 4 (pentes fortes, et donc vulnérabilité forte) se concentre dans la partie sud du bassin versant. Cette tranche contribue fortement à l'érosion. Les pentes modérées occupent la totalité du bassin. Les pentes faibles sont réparties sur l'ensemble du bassin en étant plus présentes sur la partie nord.

La figure 5 indique l'impact du couvert végétal sur la vulnérabilité des sols à l'érosion. La partie nord est hétérogène avec une prédominance de la classe 3 (céréales, agriculture extensive) ; nous sommes donc en présence d'un espace fortement vulnérable (37,76) ; les autres classes (1, 2 et 4) se retrouvent de façon aléatoire. La partie sud du bassin est mixte avec une prédominance de la classe 4, c'est-à-dire un couvert végétal protecteur.

Pour le facteur lithologique (Fig. 6), l'hétérogénéité apparait sur l'ensemble du bassin avec une prédominance de la classe 1 (banc de dolomie, calcaire sublithographique). Il s'agit de sols très résistants au phénomène érosif, occupant 68,24% de la superficie totale du bassin versant. Cette classe est présente dans la quasi-totalité du bassin ; la classe 2 (grès et poudingue) occupe seulement 0,93 % du bassin versant. Cet espace résistant à l'érosion se concentre sur la partie nord-est du bassin ; les classes 3 et 4 se retrouvent de façon aléatoire. Elles présentent une érodibilité des sols forte (22,52 %) à très forte (8,31 %).

La figure 9 représente la carte de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique. Notons qu'une forte vulnérabilité correspond à un espace nu (ou faiblement couvert), de pente et d'érosivité fortes et de sol peu ou pas résistant. Ainsi, le résultat du croisement des quatre cartes thématiques met en évidence quatre classes de sensibilité des sols :

- classe 1 : vulnérabilité faible à l'érosion couvrant 46,81 % de la superficie du bassin ;
- classe 2 : vulnérabilité modérée à l'érosion s'étalant sur 41,78 % de la superficie du bassin ;
- classe 3 : vulnérabilité forte à l'érosion tapissant 9,05 % de la superficie du bassin ;
- classe 4 : vulnérabilité très forte à l'érosion couvrant 2,36 % de la superficie du bassin.

Près de 2 % des sols présentent une forte sensibilité à l'érosion hydrique. Ils sont localisés surtout au nord et au centre du bassin. Quoi que toutes les classes de vulnérabilité apparaissent sur la partie sud, cette dernière présente une vulnérabilité faible à modérée vis-à-vis du phénomène érosif. Les programmes de lutte antiérosive doivent différer sur les deux parties du bassin. L'ordre d'intervention prioritaire y apparaît.

Validation sur le terrain

Après intégration des résultats, nous avons comparé les degrés de sensibilité à l'érosion obtenus par les informations de synthèse obtenues grâce aux SIG à ceux observés sur le terrain. Une cinquantaine de points ont été sélectionnés, par échantillonnage stratifié, pour les endroits susceptibles de subir une érosion, représentés sur la carte de vulnérabilité multicritères (Fig. 9). Les zones très sensibles correspondent aux zones de ravinement. Elles affectent particulièrement la partie nord du bassin. Cette situation résulte de l'intensification de l'agriculture sur les terrains pentus, ce qui expose davantage les sols à la dégradation. Le taux de bonne concordance entre la carte et le terrain avoisine 85 % (Fig. 11). Les 15 % qui ne sont pas en concordance avec la réalité du terrain correspondent aux endroits exposant une hétérogénéité spatiale du type de sol et du couvert végétal caractérisant les zones de montagne. A cette divergence, s'ajoute le niveau de perception des cartes utilisées qui diffère d'une échelle à une autre. Les SIG apportent une appréciation spatiale de l'érosion que les mesures habituelles ont du mal à fournir. En plus, les degrés de sensibilité de l'érosion sont assez bien perçus. Ainsi, les systèmes utilisés décrivent beaucoup mieux l'érosion que ce qu'on peut observer sur le terrain.

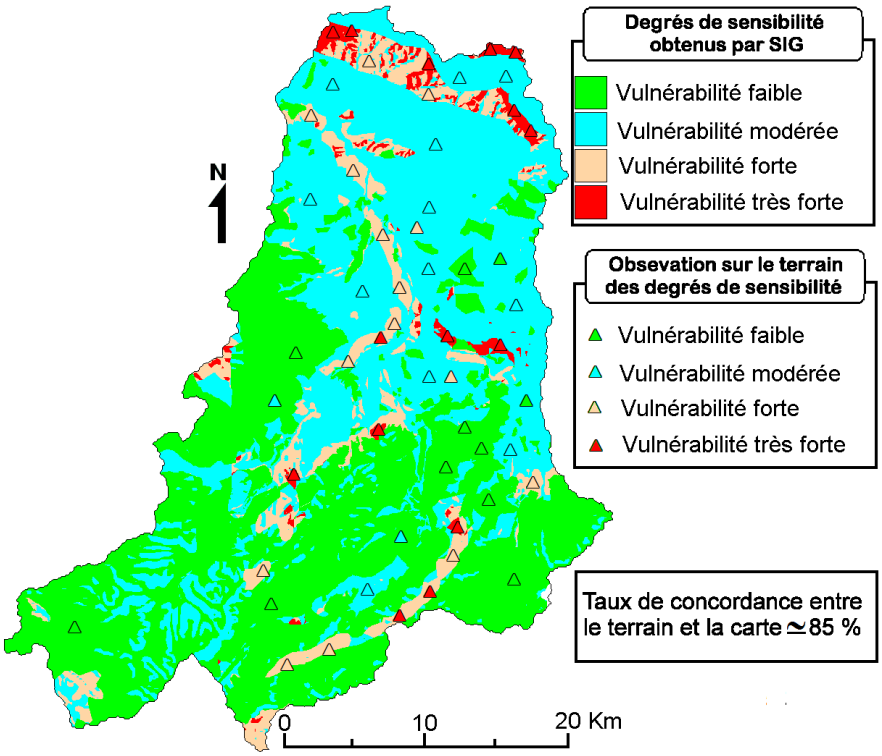

Figure 11 : Confrontation des résultats obtenus par SIG avec les observations de terrain.

CONCLUSION

Les facteurs d'érosion étudiés au niveau de ce bassin versant font bien apparaître la sensibilité des sols à l'égard de l'érosion hydrique. Une solution SIG sous ArcGis a été réalisée pour intégrer l'ensemble des informations et permettre un échange facile de données et de résultats entre les divers opérateurs. Cette solution offre d'autres possibilités en permettant des extensions thématiques : prise en

compte d'autres facteurs, tels que socio-économiques (qualité et contraintes de vie des agriculteurs, modes d'utilisation du sol).

Après validation sur le terrain, la carte finale de vulnérabilité obtenue permet de mettre en évidence trois grandes régions de vulnérabilités respectives : i) forte à très forte principalement localisée au centre et au nord du bassin ; ii) moyenne, essentiellement au nord et sur une partie du sud du bassin et iii) faible ou nulle sur la totalité du bassin versant dans les secteurs riches en biomasse.

Si les SIG nous autorisent une mise à jour régulière, ils ne nous permettent pas, par contre, de déterminer certaines propriétés telles que l'infiltrabilité, la cohésion des sols et la stabilité structurale. Des recherches poussées sur ces propriétés apporteraient des informations complémentaires permettant d'affiner la carte de vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique.

BIBLIOGRAPHIE

ARNOLDUS, H.M.J., 1980. An approximation of the rainfall factor in the Universal Soil Loss Equation. *In*: DE BOODT, M. & GABRIELS, D. (Eds.) Assessment of Erosion. FAO Land and Water Development Division, Wiley & Sons, Chichester, 127-132.

BERGKAMP, G., CAMMERAAT, L.H. & MARTINEZ-FERNANDEZ, J. 1996. Water movement and vegetation patterns on shrub land and on abandoned field in two desertification–threatened areas in Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 1073-1090.

BOIFFIN, J., 1976. Histoire hydrique et stabilité structurale de la terre. *Annales Agronomiques*, 27(4): 447-463.

BOUGHALEM, M., MAZOUR, M. & ZAAGANE, M., 2012. Utilisation des SIG pour l'aménagement du bassin versant de l'Isser (Nord 0uest de l'Algérie). In: ROOSE, E., DUCHAUFOUR, H. & DE NONI, G. (Eds.) Lutte antiérosive, réhabilitation des sols tropicaux et protection contre les pluies exceptionnelles, IRD Editions, Marseille, 79-90.

BOUGHALEM, M., MAZOUR, M., GRECU, F., ABDELLAOUI, A. & HAMIMED, A., 2013. Evaluation par analyse multicritères de la vulnérabilité des sols à l'érosion : cas du Bassin versant de l'Isser-Tlemcen, Algérie. *Analele Universităţii Bucureşti, Geografie*, LXII: 5-26.

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 montagneuse du Liban. *Sécheresse*, 12(3): 157-165.

BRADFORD, J.M. & HUANG, C., 1996. Splash and detachment by waterdrops. *In*: AGASSI, M. (Ed.) Soil Erosion, Conservation, and Rehabilitation, Dekker, New York, 61-76.

CERDA, A., 1999. Parent material and vegetation affect soil erosion in eastern Spain. *Soil Science Society of America Journal*, 63: 362-368.

CHAPLOT, V. & LE BISSONNAIS, Y., 1999. Field measurements of interill erosion under different slopes end plot sizes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 24: 1-10.

CHEBBANI, R., MEDEDJEL, N. & BELAIDI, S., 1995. Application de la GCES dans la région de Tlemcen, Algérie. *Bulletin Réseau Érosion*, 15: 489-497.

DEMMAK, A., 1982. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie septentrionale, Thèse Doct. Ing, Paris, 323 p.

EKERN, P.C., 1950. Raindrop impact as the force initiating soil erosion. *Soil Science Society of America Proceedings*, 15: 7-10.

HEUSCH, B., 1970. Estimation et contrôle de l'érosion hydrique. *Bulletin de la Société des Sciences naturelles et physiques du Maroc*, Numéro spécial, 41-54.

HUDSON, N.W., 1973. Soil Conservation. London, Bastford, 320 p.

MAZOUR, M., 1992. Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin de l'oued Isser : Tlemcen, Algérie. *Bulletin Réseau Érosion*, 12: 300-313.

MEDDI, M., BOUKHARI, Y. & MORSLI, B., 2005. Etude du ruissellement et du transport solide dans les Monts de Beni-Chougrane, Algérie : utilisation de la simulation de pluie. *Sediment Budgets 1* (Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005). *IAHS Publ.* 291: 21-28.

MORSLI, B., MAZOUR, M., MEDEDJEL, N. & ROOSE, E., 2004. Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse*, 15(1): 96-104.

REMINI, B., 2000. L'envasement des barrages. *Bulletin Réseau Erosion*, 20: 165-171.

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 FAO. Rome, FAO, 438 p.

ROOSE, E., 1996. Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. *Bulletin Réseau Erosion*, 16: 87-97.

ROOSE, E., SABIR, M. & LAOUINA, A., 2010. Gestion durable de l'eau et des sols au Maroc. Valorisation des techniques traditionnelles méditerranéennes. IRD-ENFI-AUF, Montpellier, 343 p.

VALENTIN, C., POESEN, J. & LI, Y., 2005. Gully erosion: Impacts, factors and control. *Catena*, 63(2-3): 132-153.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. US Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537. 163 p.