

Identification des anomalies de fonctionnement des ouvrages de conservation des eaux et du sol du bassin versant Sidi Salah

[Identification of the operating anomalies of soil and water conservation works at the watershed Sidi Salah]

Marwa Fourati¹, Riadh Bouaziz², Asma El Amri¹, and Rajouene Majdoub¹

¹Département du Génie des Systèmes Horticoles et du Milieu Naturel,
Université de Sousse, Institut Supérieur Agronomique de Chott Mariem,
Sousse, Tunisie

²Laboratoire CGMED,
Université de Sfax, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines de Sfax,
Sfax, Tunisie

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The watershed Sidi Salah, located in the north of Sfax (Tunisia), knew an important water and soil conservation installations. These installations present certain operating anomalies that make them unable to well manage the hydric erosion phenomenon. This work aims to identify those anomalies and to characterize the responsible factors in order to promote the sustainable management of water and soil at the level of the watershed. The study was based on the photo-interpretation of the satellite images with high resolution, the field observation and the chemical analyses of the soil samples taken in various sites of the watershed. The results allowed us to reveal some anomalies as the loss of embankments and the destruction of the masonry installations. The responsible factors are mainly naturals, related to the turbulent water flows and the soft lithology of the soil rich in gypsum and limestone.

KEYWORDS: Watershed, Anti erosive installations, Hydric erosion, Operating anomalies, Sustainable management.

RESUME : Le bassin versant Sidi Salah, situé au Nord du gouvernorat de Sfax (Tunisie), a connu des aménagements de conservation des eaux et du sol assez importants. Ces ouvrages présentent certaines insuffisances qui les rendent incapables de bien contrôler le phénomène d'érosion hydrique. Le présent travail a pour objectif d'identifier ces anomalies et de caractériser les facteurs responsables de leur apparition afin d'assurer une gestion durable des eaux et du sol à l'échelle du bassin versant. L'étude s'est basée sur la photo-interprétation des images satellites à haute résolution, des observations sur terrain et des analyses chimiques des échantillons du sol prélevés à différents sites du bassin. Les résultats de l'étude ont permis de dévoiler comme anomalies la perte des ouvrages en remblai et la destruction des ouvrages en maçonneries. Les facteurs responsables sont, essentiellement, naturels liés à la turbulence des écoulements d'eau et à la lithologie tendre du milieu riche en gypse et en calcaire.

MOTS-CLEFS : Bassin versant, Aménagements anti-érosifs, Erosion hydrique, Anomalies de fonctionnement, Gestion durable.

1 INTRODUCTION

L'extension spectaculaire du phénomène de dégradation du sol révèle de plus en plus des aspects inquiétants en Tunisie [1]. Les conditions physico-chimiques ([2], [3] et [4]), géomorphologiques [5], hydro-climatiques et socio-économiques [6] affectant les terres tunisiennes sont particulièrement favorables à leur dégradation [7]. Il existe plusieurs formes de dégradation des sols qui sont essentiellement de nature physique, chimique et biologique. Ces formes de dégradation sont souvent diverses, réversibles et enchevêtrées les unes dans les autres [8]. La forme de dégradation la plus répandue en Tunisie est celle de nature physique et plus précisément l'érosion hydrique. Cette dernière constitue un aspect majeur de la dégradation des paysages menaçant environ 8,5 millions d'ha dont 8 millions sont gravement affectés par une érosion forte à moyenne, ce qui correspond à 54,6% des terres Tunisiennes [9].

Face à cette problématique, plusieurs recherches ont été élaborées dans le but de limiter les effets nocifs de cette dégradation ([1], [9], [10] et [11]). Dans ce contexte, l'Etat a opté pour une stratégie nationale qui visait la valorisation et la gestion optimale des ressources en eau et en sol. En fait, elle repose sur le contrôle de l'érosion hydrique, la conservation des eaux de ruissellement et l'amélioration de la recharge des nappes [11]. Cette stratégie a été divisée en deux périodes, la première entre 1990 et 2001 qui a coûté 570 millions de dinars et la deuxième entre 2002 et 2011 qui a valu 780 millions de dinars [12]. Les aménagements sont, généralement, implantés sur les versants (banquettes, cordons en pierres sèches, etc.) et les réseaux hydrographiques (seuils hydrauliques, lacs collinaires, etc.) en vue d'atténuer les débits de l'écoulement, réduire le potentiel érosif de l'eau, et favoriser l'infiltration.

Bien que les aménagements anti-érosifs contribuent de façon efficace à assurer la durabilité de l'activité du sol, le suivi et l'évaluation de leur état et de leur fonctionnement hydraulique demeurent nécessaires pour assurer leur réussite et efficacité, permettant ainsi l'ajustement et une meilleure planification des futurs programmes anti-érosifs. Peu d'études ont été intéressées à l'évaluation de l'état de ces ouvrages. La référence [13] a révélé la disparition des banquettes suite à l'évolution du ravinement et à l'absence totale des entretiens. La caractérisation des causes de brèche des banquettes anti-érosives a été étudiée par la référence [14]. Cette étude a montré qu'il existe trois causes principales de brèche qui sont, par ordre d'importance, la lithologie, le réseau hydrographique et la capacité de rétention des banquettes.

C'est dans ce cadre d'idée que le présent travail vise à identifier les dysfonctionnements des ouvrages anti-érosifs aménagés au niveau du bassin versant Sidi Salah (gouvernorat de Sfax, Tunisie) moyennant des images satellitaires de haute résolution prises à différentes dates.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 ZONE D'ETUDE

Le bassin versant d'Oued Sidi Salah est situé au niveau de la côte Nord du Golfe de Gabès (Sfax). S'étendant sur une superficie de 250 km², il prend naissance dans les collines de Sidi Litayem et s'écoule vers l'Est pour se jeter dans la mer méditerranéenne au niveau du Chott El Mardassia à 17 km du centre-ville de Sfax, et à 5 km du marabout de Sidi Mansour (figure 1). Ce bassin est considéré comme l'un des principaux bassins versants de la région de Sfax de point de vue grandeur et dynamique érosive.

Le climat de la région de Sfax est méditerranéen, il appartient à l'étage bioclimatique semi-aride supérieur avec une pluviométrie annuelle moyenne de l'ordre de 200 mm, une température moyenne annuelle de 17°C et une vitesse maximale de vent de 7 m/s. Les précipitations sont souvent exceptionnelles, torrentielles et irrégulières dans le temps et dans l'espace. Historiquement, cette région a connu plusieurs événements pluviométriques exceptionnels. Entre 1901 et 2012, les pluies moyennes annuelles ne dépassent pas 225 mm. La variabilité interannuelle remarquable observée se traduit par un coefficient de variation de 40,3%. Les totaux pluviométriques annuels peuvent être inférieurs à 100 mm pendant certaines années (96,9 mm en 1987). Exceptionnellement, il arrive qu'ils dépassent 400 mm (450 mm en 1982).

De point de vue hydrologique, le bassin d'étude est de forme allongé avec un indice de compacité de 1,58. Il est drainé par un réseau hydrographique dense avec des ordres des oueds qui atteignent 6. L'indice global de pente et la dénivellée spécifique du bassin versant sont de l'ordre de 2,7 m/km et 42,6 m, respectivement, donc il s'agit d'un bassin à relief très faible. Le modèle numérique de terrain montre que le paysage comprend trois composantes du relief : les collines, les plateaux et les plaines. Les collines correspondent au relief le plus élevé avec une altitude maximale de 180 m dans les environs de Sidi Litayem. Elles représentent seulement 10% de la superficie totale avec des faibles pentes qui ne dépassent pas 3%. En contrebas des collines, s'étend le domaine des plateaux, d'altitudes comprises entre 40 et 130 m. Ils se caractérisent par la platitude de ses surfaces, la faiblesse des pentes qui ne dépassent pas 0,8%. Vers l'aval, dans la zone de

chott el Mardassia, s'étend le domaine des plaines basses caractérisées par une surface régulière avec une pente ne dépassant pas 0,3%.

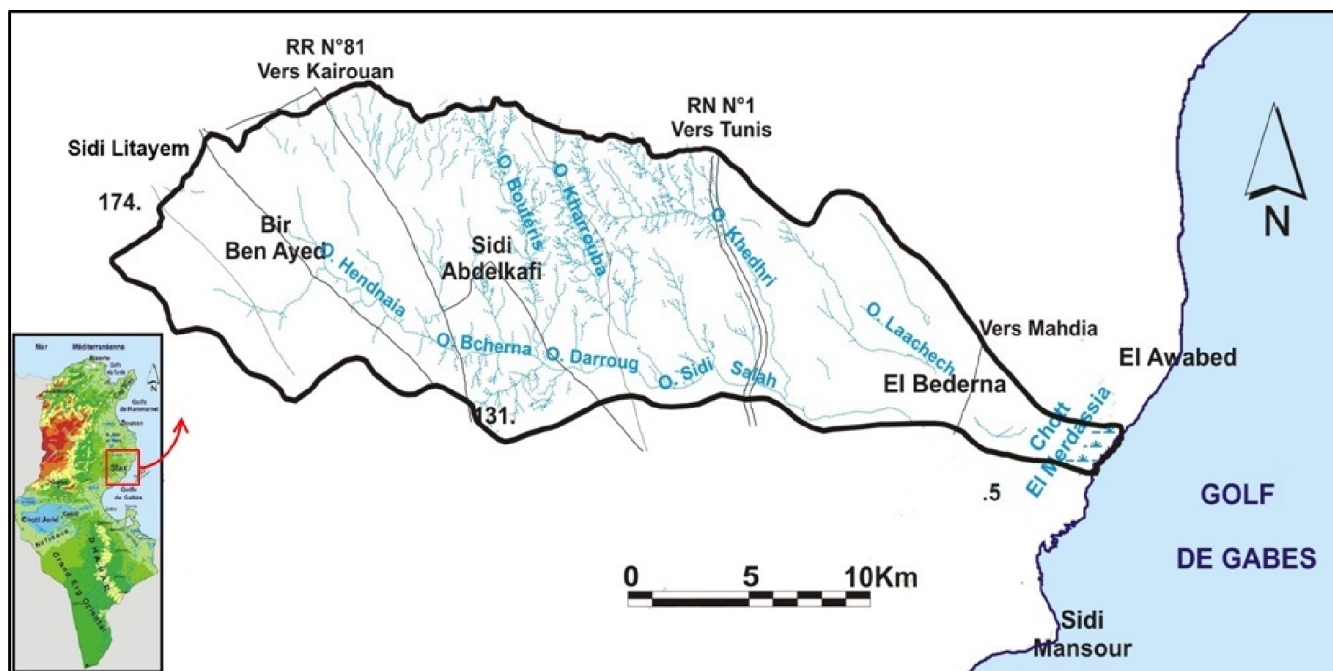


Fig. 1. Carte de localisation du bassin versant Sidi Salah

De point de vue lithologique, le bassin versant Sidi Salah est caractérisé par une géologie simple. En fait, l'affleurement le plus ancien ne remonte pas au-delà du mio-pliocène. Ce dernier est constitué par des alternances d'argiles brunes et de sables blancs à jaunes, fins et à rares passés d'argiles vertes gypseuses. Les surfaces des collines et les plateaux sont souvent coiffés par des croûtes de calcaire exploitées par les carrières. Cependant, le reste de la superficie du bassin versant est dominé par des formations quaternaires tendres formées par des faciès sableux ou sablo-limoneux favorable à l'érosion hydrique [15].

Le bassin versant Sidi Salah a connu des mutations agro-pastorales importantes accompagnées par une mise en valeur des terres agricoles ce qui a provoqué l'exposition du sol aux processus de dégradation. Pour lutter contre le phénomène d'érosion, ce bassin a été aménagé par plusieurs ouvrages anti-érosifs qui continuent jusqu'aujourd'hui à conserver, de manière très remarquable, les ressources en eau et en sol. Les aménagements en banquettes sont les plus abondants et sont répartis sur toute la superficie du bassin, alors que le reste des ouvrages sont concentrés au niveau de la rive droite du bassin. Il s'agit d'un seuil, trois épis et une diguette en pierre au niveau d'Oued Hendaiaa, un deuxième seuil et une diguette en terre au niveau d'un oued limitrophe (Oued Taous), un lac collinaire situé au niveau du lit d'Oued Abdélkafi, un chantier de barrage collinaire en aval d'Oued Bcherna.

2.2 DEROULEMENT

Cette étude se base sur des données cartographiques en mode raster à savoir les cartes topographiques de Sidi Salah et Sidi Litayem à l'échelle 1/50000 et 1/25000, de façon respective, et des images à haute résolution extraites de Google Earth, et d'autres en mode vecteur notamment la carte agricole de la région de Sfax issue du Commissariat Régional de Développement Agricole (CRDA). Après la collecte de ces données et leur intégration dans un Système d'Information Géographique (SIG), une mise à jour de la carte agricole a été faite moyennant le logiciel Arcview 3.2 d'ESRI [16].

L'analyse du disfonctionnement des ouvrages a été basée essentiellement sur la photo interprétation des images satellitaire à haute résolution. En fait, la comparaison des images extraites de Google Earth à différentes dates a permis de faire le suivi de l'état des aménagements au cours du temps. Ces images ont été téléchargées par le logiciel «Easy Google Maps Downloader» puis elles ont été intégrées dans le logiciel Corel Draw à fin de les convertir en format JPEG.

Une visite de terrain a été faite en Avril 2013 dans le but de détecter visuellement les anomalies au niveau des ouvrages anti-érosifs du bassin versant Sidi Salah. Pour mieux comprendre les causes des anomalies observées au niveau des ouvrages identifiés, des échantillons de sol ont été prélevés aléatoirement. Les analyses chimiques réalisées sont le taux de calcaire total et le gypse.

Après l'identification des anomalies, les différentes couches d'informations provenant de la digitalisation des ouvrages existants, ajoutées à celles des anomalies détectées, ont été emmagasinées dans une base de données numérique puis cartographiées. Le SIG a été également utilisé pour stocker et structurer les informations cartographiques de base, et intégrer les différentes caractéristiques du bassin versant, notamment, celles intervenant dans le processus érosif.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 PERTE DES OUVRAGES EN REMBLAI

Les ouvrages en remblai aménagés dans la zone d'étude consistent en des banquettes et des digues en terre. Pour les banquettes, la comparaison entre deux images de Google Earth datant de 2003 et 2013 montres que 80% des banquettes sont affectés par des pertes de qualité. En effet, 32% des banquettes ont été affectées par des pertes partielles et 68% des banquettes ont été totalement perdues (figure 2).

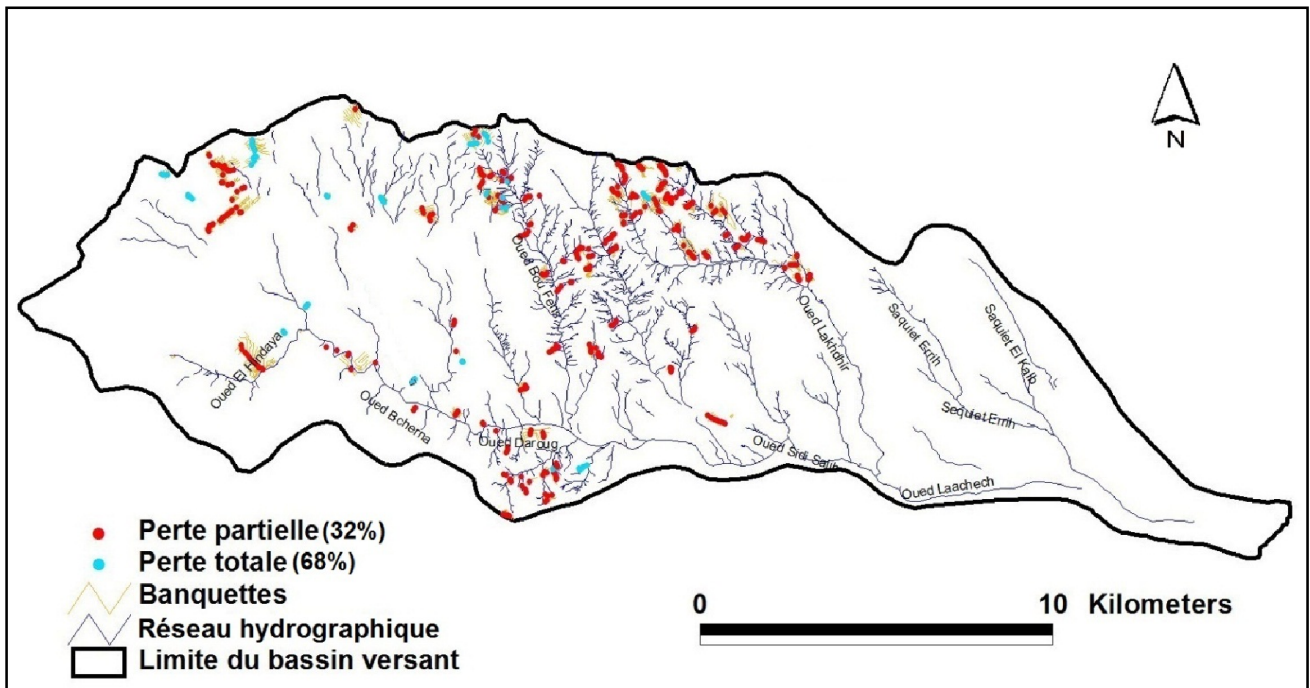


Fig. 2. Carte des anomalies des banquettes

La superposition de la carte des anomalies des banquettes et celle de la lithologie montre une perte de 85% des banquettes aménagées sur des formations argilo-sableuses et une perte de 76% de celles aménagées sur des formations sablo-limoneuses. Ces formations posent de sérieux problèmes de stabilité des banquettes car toutes les banquettes aménagées sur ces formations présentent au moins une perte. Ceci a été également signalé par la référence [17] au niveau du bassin versant El Ghouzaine de la Tunisie Centrale où une instabilité des banquettes a été observée sur des formations argilo-gypseuses. Le nombre des banquettes qui ont été affectées par des pertes partielles ou totales selon la formation lithologique sont présentées dans le tableau 1.

Concernant la diguette en terre située au niveau d'oued Taous, une disparition de sa partie droite limitrophe à un seuil a été enregistrée. Etend donner que le phénomène d'érosion hydrique est accentué par les précipitations irrégulières et torrentielles, la nature du terrain (roche et résistante) ainsi que la topographie (accidentée), cette disparition peut être, donc, due à la nature du sol formant le remblai (sableuse) et à la turbulence des écoulements d'eau de ruissellement durant la période des hautes eaux.

Pour les digues du lac et du barrage, la prospection de terrain montre que ces dernières sont affectées par une érosion en rigole. Ce type d'érosion peut s'accroître et se transformer en érosion en ravin capable de provoquer par la suite la perte totale de l'ouvrage en cas d'absence d'intervention pour les entretenir.

Tableau 1. Répartition des banquettes affectées par les pertes selon la lithologie du bassin versant Sidi Salah

Formation lithologique	Nombre de banquettes	Nombre de banquettes avec perte	Nombre de banquettes affectées par une perte totale	Nombre de banquettes affectées par une perte partielle
Argilo - sableuse	272	230	70	160
Sablo - limoneuse	388	292	90	202
Total	660	522	160	362

3.2 DESTRUCTION DES OUVRAGES EN MAÇONNERIE

L'examen des images satellitaires de Google Earth à différentes dates (2010 et 2013) et les prospections de terrain, ont montré la destruction de tous les seuils aménagés au niveau du bassin versant, la disparition de la partie amont de la diguette en pierre construite dans le but de consolider la berge d'oued Hendaiaa ainsi que la destruction d'un épi.

Concernant le lac collinaire, la comparaison des images Google à différentes dates montre la destruction de la partie aval de l'évacuateur de crue du lac. Les anomalies mentionnées ont été cartographiées et elles sont présentées dans la figure 3.

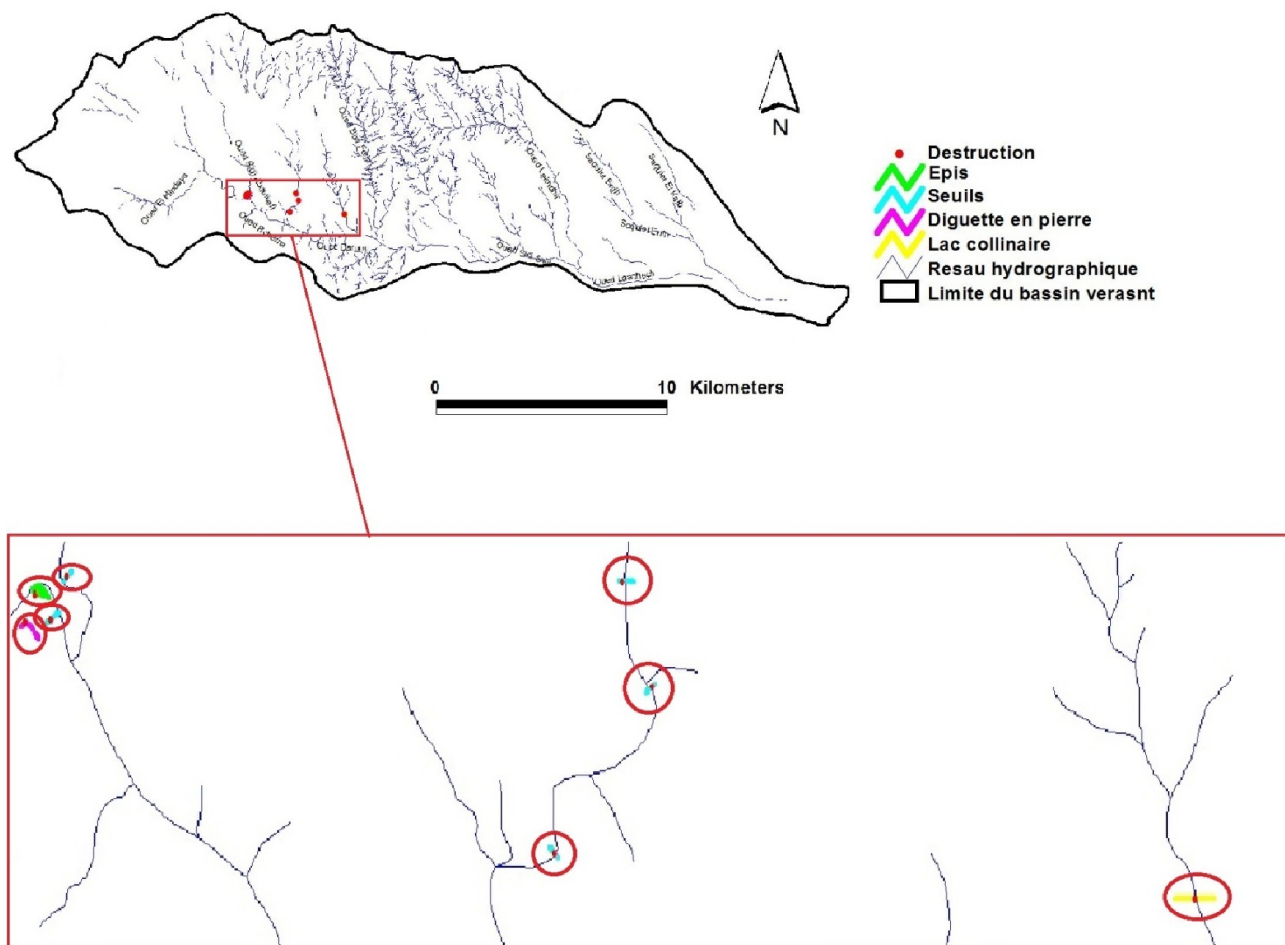


Fig. 3. Carte des anomalies des ouvrages en maçonnerie

Pour mieux comprendre et identifier la cause de la destruction de la totalité des seuils, une superposition de la carte des anomalies des aménagements en seuils et de la carte lithologique a été faite (figure 4).

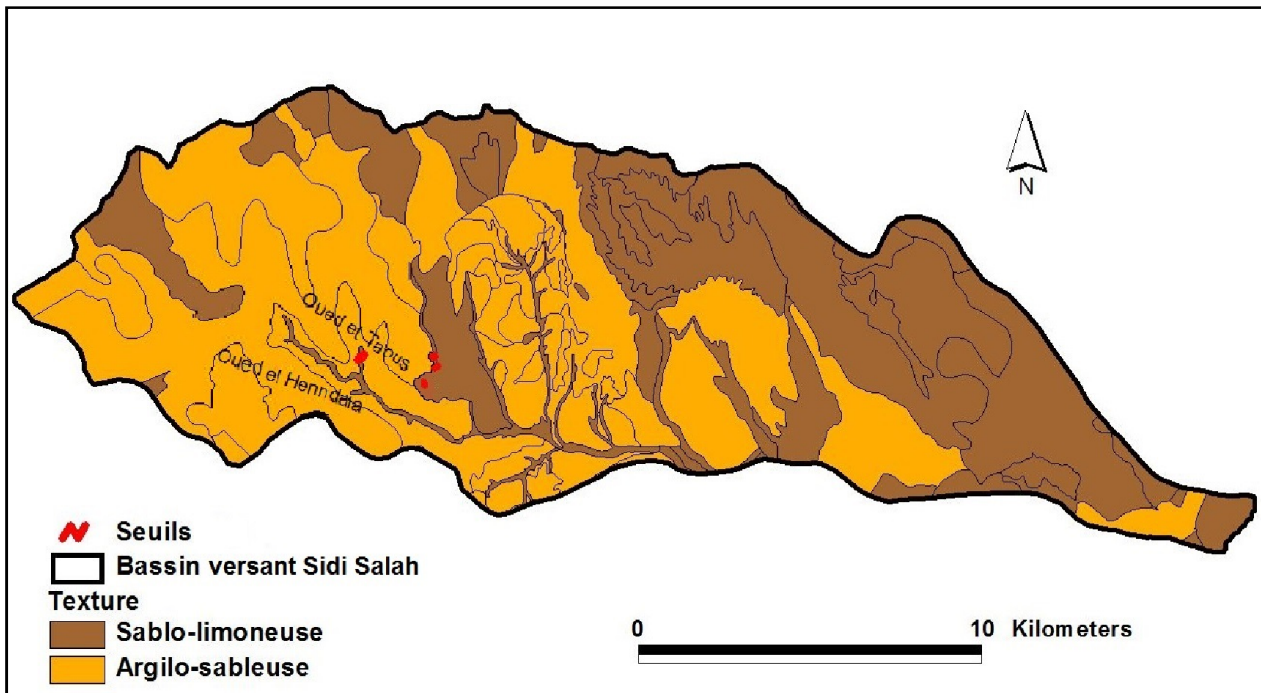


Fig. 4. Superposition de la carte des aménagements en seuils et de la carte lithologique

La figure 4 montre que tous les seuils ont été aménagés sur des roches meubles de formation sablo-limoneuse. Il s'agit, pour notre cas, d'une formation tendre très sensible à l'érosion et qui pose un problème de stabilité pour les ouvrages en maçonnerie en cas d'absence de fondation profonde.

A propos du lac collinaire aménagé dans le but de recharger la nappe phréatique, les analyses ont montré que le sol est gypseux (6,6%) et faiblement calcaire ($5 < \text{CaCO}_3\text{Total} \leq 12,5\%$). Ceci va engendrer l'augmentation de la salinité de la nappe suite à la dissolution du gypse. Au niveau de la fondation de l'évacuateur de crue, le taux de gypse et celui du calcaire ont augmenté ; ce qui confirme le mauvais choix de l'emplacement du lac. En effet, le gypse provoque le creusement du sol au niveau de sa fondation. Ceci explique bien la destruction de l'évacuateur de crue.

Pour la zone de retenue d'eau, les résultats de l'analyse de sol montrent que les taux de calcaire total et du gypse, le long de 70 cm de profondeur, sont très élevés par rapport à ceux du sol initialement en place. Ceci est dû à la sédimentation des eaux de ruissellement chargées en matière en suspension et responsable de la formation d'une zone de dépôt riche en gypse (69,7%) et en calcaire (33,9%) susceptible d'augmenter la salinité de la nappe phréatique.

4 CONCLUSION

Malgré la faiblesse de sa topographie, la dégradation des terres dans le bassin versant Sidi Salah est aujourd'hui un problème réel et inquiétant. L'évolution de l'ampleur des dégâts provoqués par l'érosion, montre que cette dégradation prend parfois des dimensions importantes. Outre les facteurs liés au milieu naturel, particulièrement l'agressivité du climat traduite par l'irrégularité et la torrencialité des précipitations, la prédominance des formations tendres, etc., l'apparition de certaines anomalies accentuées vraisemblablement la vulnérabilité du milieu et augmente le risque d'une défaillance totale des ouvrages anti-érosifs aménagés. En effet, la comparaison de l'état des ouvrages anti-érosifs, à partir des images satellites à hautes résolutions, a permis d'estimer la perte de 80% des banquettes aménagées dans le bassin versant d'étude, la perte partielle de la diguette en terre, le ravinement des talus des digues et la destruction des ouvrages en maçonneries. De nombreux facteurs pouvant expliquer la présence de ces anomalies. En fait, outre que les facteurs naturels, comme l'atteste les résultats de notre étude, la responsabilité de l'Homme est aussi à ne pas écarter. En effet, le manque d'entretien, la mauvaise conception et le mauvais choix d'emplacement des ouvrages ont contribué également à l'aggravation de la situation et l'endommagement des ouvrages aménagés.

REFERENCES

- [1] H. Taamallah, A. Ouled Belgacem, H. Hamrouni, K. Nagaz, H. Ouchi et H. Lakhdhar, "Gestion durable des terres en Tunisie : bonnes pratiques agricoles", FAO, Land Dégradation Assessment in Drylands, Tunisie, 108 p, 2010.
- [2] M. Badraoui et M. Stitou, "Status of soil survey and soil information system in Morocco, Centre international de hautes études agronomiques méditerranéennes-Instituto Agronomico Mediterraneo di Bari", CIHEAM-IAMB, 2001.
- [3] R. Boukheir, M.R. Girard, M. Khawlie et C. Abadallah, "Erosion hydrique des sols dans les milieux méditerranéens : une revue bibliographique", Etude et Gestion des Sol, vol. 8, pp. 231-245, 2001.
- [4] A. Giordano and N. Filippi, "Advantages and disadvantages of land use changes for the preservation of soil resources", Review of soil conservation practices and the need for related research. In : État de l'agriculture en Méditerranée. Les sols dans la région méditerranéenne : utilisation, gestion et perspectives d'évolution. CIHEAM-IAMZ, pp. 113-134, 1993.
- [5] A. Oueslati, "Les côtes de la Tunisie. Géomorphologie et environnement et aptitudes à l'aménagement", Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, vol. 2, no. 34, 385 p, 1993.
- [6] E. Roose et G. De Noni, "Apport de la recherche à la lutte antiérosive : bilan mitigé et nouvelle approche", Etude et Gestion des Sols, vol. 5, no. 3, pp. 181-194, 1998.
- [7] M. Achouri, "La conservation des eaux et du sol en Tunisie : bilan et perspectives", Agriculture, durabilité et environnement, CIHEAM, Cahiers Options Méditerranéennes, vol. 9, pp. 35-47, 1995.
- [8] M. Robert et C. Cheverry, "Les ressources mondiales en eau et en sols : une limitation pour l'avenir", Cahiers Agricultures, vol. 5, no. 4, pp. 243-248, 1996.
- [9] CNEA, "Etude sur l'état de la désertification pour une gestion durable des ressources naturelles en Tunisie", Rapport de la troisième phase, 122 p, 2008.
- [10] R. Majdoub, S. Khlifi, A. Ben Salem et Y. M'Sadak, "Impacts of the Meskat water-harvesting system on soil horizon thickness, organic matter, and canopy volume of olive tree in Tunisia", Desalination and Water Treatment, vol 52, no. 10-11, pp. 2157-2146, 2013.
- [11] M. Boufaroua, "Evolution des techniques de conservation des eaux et des sols en Tunisie", Ministère de l'Agriculture, de l'Environnement et des Ressources Hydrauliques DG/ACTA, Tunisie, 11 p, 2004.
- [12] H. Farhat, "Etat sur les activités du projet LADA en Tunisie", Steering Comitee Meeting an Technical Workshop, 19 p, 2006.
- [13] H. Bouchnak, M. Sfar Felfoul, M.R. Boussema et M.H. Sane, "Etude de l'évolution du ravinement en fonction de la lithologie dans les bassins versants des oueds El hammam et Rmel en Tunisie centrale", Revue Télédétection, vol. 4, no. 1, pp. 75-93, 2004.
- [14] N. Baccari, M.R. Boussema, J.M. Lamachère et S. Nasri, "Identification du risque de brèche des banquettes anti-érosives en région semi-aride tunisienne à l'aide d'ortho-images aériennes et de données multi sources dans un système d'information géographique", Revue télédétection, vol. 7, no. 1, pp. 405-417, 2007.
- [15] R. Bouaziz, "Les oueds exoréiques de côte de Sfax : Leur évolution au cours du Quaternaire", Thèse doctorale, Faculté des Sciences Humaines et Sociales de Tunis, 275 p, 2008.
- [16] ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release 10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute.
- [17] N. Baccari, J.M. Lamachère, M.R. Boussema, A. Benmamou et S. Nasri, "Influence du facteur lithologique sur l'échec des aménagements en banquettes de terre dans un petit bassin versant semi-aride Tunisien", Revue Geo-Eco-Trop, vol. 30, no. 2, pp 97-108, 2006.