

Utilisation des méthodes géophysiques pour l'évaluation des apports solides à l'amont des ouvrages en gabions dans les régions arides du sud Tunisien

Use of geophysical methods to evaluate soil sediments behind gabion check dams in the dry regions of southern Tunisia

Mongi Ben Zaied*¹, Nesrine Frifita² & Mohamed Ouessar¹

¹ Laboratoire d'Eremologie et de Lutte Contre la Désertification (LR16IRA01). Institut des Régions Arides (IRA) de Médenine, Université de Gabès – Tunisie

² Faculté des Sciences de Gabès, Université de Gabès – Tunisie

Article info

Histoire:
Received 22 Juillet 2022
Accepted 15 Septembre 2022

Mots-clés : Erosion,
Tomographie, Ruissellement,
Sédiment, Topographie.

*Auteur correspondant
benzaied.mongi@gmail.com

Article info

Article history:
Received 22 July 2022
Accepted 15 September 2022

Résumé

Cette étude vise à détecter des sédiments au niveau de six ouvrages de recharge en gabions répartis dans les zones amont et aval du bassin versant de la Koutine situé dans une zone aride du sud-est de la Tunisie et caractérisé par une précipitation moyenne annuelle inférieure à 200 mm. La détection des sédiments est basée sur la méthode de Tomographie de Résistivité Electrique (ERT) associée à des mesures topographiques. Une dizaine de lignes étaient disposées, avec 72 électrodes. Les résultats des données de résistivité obtenues lors des mesures sur le terrain ont été inversés dans les structures souterraines à l'aide des techniques d'inversion des moindres carrés. Les résultats indiquent que les sédiments peuvent être identifiés à l'aide d'une méthode de contour ERT. Les résultats obtenus sont calibrés sur la base d'échantillons collectés pour analyse en laboratoire. La précision de la méthode ERT à haute densité était justifiée. La densité augmente avec la profondeur du dépôt sédimentaire. Des méthodes topographiques ont été utilisées pour estimer la surface et le relief des sédiments déposés dans la zone contrôlée par l'ouvrage en gabions. Cette étude fournit une approche basée sur la méthode de tomographie de résistivité électrique à haute densité et une campagne topographique pour estimer le rendement en sédiments au niveau des retenues des ouvrages de recharge sélectionnés. Le dépôt sédimentaire des sols érodés réduit l'efficacité des ouvrages de recharge. Par conséquent, l'amélioration de la perméabilité au niveau des bassins de rétention (par curage du bassin de décantation et création de puits de recharge) est d'une grande importance. Les résultats de l'étude sont utiles aux décideurs pour évaluer les plans existants de conservation des sols et la gestion des ressources en eau, qui peuvent être ajustés davantage en utilisant des options appropriées d'atténuation de l'érosion des sols basées sur des preuves scientifiques.

Abstract

This study aims to detect sediment at six gabions check-dams distributed in the upstream and downstream areas of the Koutine catchment located in an arid area in the southeast of Tunisia and characterized by an annual mean

Keywords: Erosion, Tomography, Runoff, Sediment, Topography.



Copyright©2023 JOASD

*Corresponding author
benzaied.mongi@gmail.com

Conflict of Interest : The authors declare no conflict of interest.

precipitation of less than 200 mm. The detection of sediment is based on the Electrical Resistivity Tomography (ERT) method associated with topographic measurements. About ten lines were arranged, with 72 electrodes. The results of resistivity data obtained during field measurements were inverted into subsurface structures using least squares inversion techniques. The preliminary results indicate that the sediment can be identified using an ERT contour method. The obtained results are calibrated based on samples collected for laboratory analysis. The accuracy of the high-density ERT method was justified. The density increases with the sediment deposit depth. Topographic methods were used to estimate the surface and the relief of deposited sediments in the area monitored by the gabions check-dams. This study provides an approach based on the high-density electrical resistivity tomography method and a topographic investigation to estimate sediment yield behind gabion check-dams that control catchments. The sedimentary deposit of eroded soils reduces the effectiveness of the recharge structures. Consequently, the improvement of permeability at the level of the retention basins (by cleaning the settlement basin and creating recharge wells) is of great importance. The study results are beneficial for decision-makers to evaluate the existing soil conservation and water management plans, which can be further adjusted using appropriate soil erosion mitigation options based on scientific evidence.

1. INTRODUCTION

L'érosion hydrique et la dégradation des terres constituent des préoccupations majeures de différents pays d'Afrique du Nord, comme la Tunisie. Dans cette région, le climat est influencé par la mer Méditerranée au nord et le désert au sud. Les bioclimats arides, semi-arides et désertiques couvrent plus des deux tiers du pays (Floret & Pontanier, 1982). Le régime pluviométrique est connu par sa rareté, sa forte variabilité spatio-temporelle et sa torrentialité (Ballais, 2018). L'érosion hydrique dégrade annuellement environ 15 000 ha de terres arables fertiles en Tunisie (Gaddas et al., 2010). Les zones arides tunisiennes situées dans la partie sud du pays couvrent plus de 629000 ha, classées de la manière suivante : 12 % de zones très dégradées, 40 % moyennement dégradées, 17 % marginalement dégradées et 31 % de zones non dégradées (Mtimet, 2001). Jebari et al. (2008) ont évalué le risque d'érosion dans les régions semi-arides sur la base des caractéristiques des précipitations extrêmes. Ce type d'enquêtes est capital pour les décideurs pour une meilleure gestion et pour concevoir des priorités d'intervention contre les risques d'érosion hydrique à l'échelle du bassin versant (Jebari et al., 2008). Par exemple, les terrasses en bandes ont été recommandées comme options efficaces d'atténuation de l'érosion en réduisant le ruissellement, et par conséquent, l'érosion et le transport de sédiments au niveau du versant de la colline (Albergel et al., 2003, Nasri et al., 2004).

L'érosion des sols due à des précipitations extrêmes est un processus dynamique, distribué

et compliqué. Il est affecté par de nombreux facteurs, parmi lesquels la topographie, la végétation et le type de sol. De plus, les processus d'érosion des sols lors d'épisodes de précipitations extrêmes sont fortement influencés par la variabilité spatio-temporelle des caractéristiques des précipitations (Mohamadi & Kavian, 2015). L'étude expérimentale menée par Escadafal et al. (1986) dans le sud de la Tunisie a permis d'expliquer que l'érosion des sols est plus élevée lorsque les précipitations sont très intenses, mais qu'elle ne suit pas une relation linéaire avec le taux de précipitation et la zone exposée à l'érosion. Cependant, dans des conditions contrôlées au laboratoire, il a été constaté que la perte en sol est proportionnelle à la surface exposée pendant l'équilibre et lorsque le mécanisme d'érosion en rigole est dominant. En même temps, au début de l'événement érosif, la relation est moins claire en raison de l'influence prononcée des conditions antécédentes du sol (Jomaa et al., 2012, 2017). Par conséquent, lors de fortes événements, l'érosion concentrée en rigoles devient le processus d'érosion du sol dominant, en particulier dans des conditions de couche arable compactée et nue, entraînant une perte en sol substantielle. Cependant, pour les sols labourés en courbes de niveau, seules des précipitations fortes sur des sols humides provoquent des érosions en rigoles (Escadafal et al., 1986).

Afin d'atténuer le problème d'érosion des sols, de nombreuses options de conservation des eaux et des sols sont de plus en plus mises en œuvre. Néanmoins, le contexte du changement climatique, y compris la saisonnalité et la

variabilité spatio-temporelle, réduisait l'efficacité de ces mesures d'atténuation (Bates et al., 2008, Huntington, 2006, Labat et al., 2004). Le suivi du transport des sédiments permet également d'évaluer et de quantifier les transferts de masse des continents vers les exutoires (Kotti et al., 2018). Cependant, le problème du nombre réduit de données relatives aux transports solides a toujours entravé les investigations. En Tunisie, les mesures de transport solide effectuées et les études ponctuelles détaillées restent insuffisantes pour traiter ce sujet (Ghorbel & Claude, 1982). Le défi consiste donc à combler les lacunes dans les connaissances avec des mesures simples. Cette étude porte sur le transport solide dans le bassin versant d'oued Koutine et l'évaluation et la quantification des sédiments à l'amont des ouvrages en gabions. L'aménagement du bassin s'est intensifié à partir des années 90. Il s'agit d'atténuer les effets des inondations sur les zones en aval qui sont très intensivement touchées aussi bien par les ruissellements que les apports solides. Cependant, l'histoire inconnue de l'afflux de sédiments dans cette zone d'étude présente la difficulté d'évaluer les apports sédimentaires en absence des équipements adéquats de mesure.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

Le bassin versant d'oued Koutine est choisi en raison de sa situation géographique et de la problématique qu'il porte. Il est situé dans la région de Jeffara, au nord-ouest de la ville de Médenine, qui fait partie de la région du sud-est de la Tunisie (Fig. 1). Le site d'étude couvre une superficie de 279 km², drainée par oued Koutine, qui s'écoule de la chaîne montagneuse des Béni Khedache et arrive à la délégation de Médenine Nord au niveau du village de Koutine. Les coordonnées approximatives du point central du bassin versant de Koutine sont 33° 16' N et 10° 08' E.

En raison de sa position géographique, le climat dans la zone d'étude est influencé à la fois par les masses d'air sec et chaud provenant du Sahara (grand erg oriental au Sud-Ouest) et celles plus tempérées, humides et variables de la Méditerranée (golfe de Gabès à l'est). Il en résulte un régime climatique subtropical méditerranéen caractérisé par des étés très chauds et secs contrastant avec des hivers assez doux fournissant les principales précipitations. Les intersaisons présentent des conditions climatiques transitoires s'apparentant aussi bien aux situations estivales qu'hivernales.

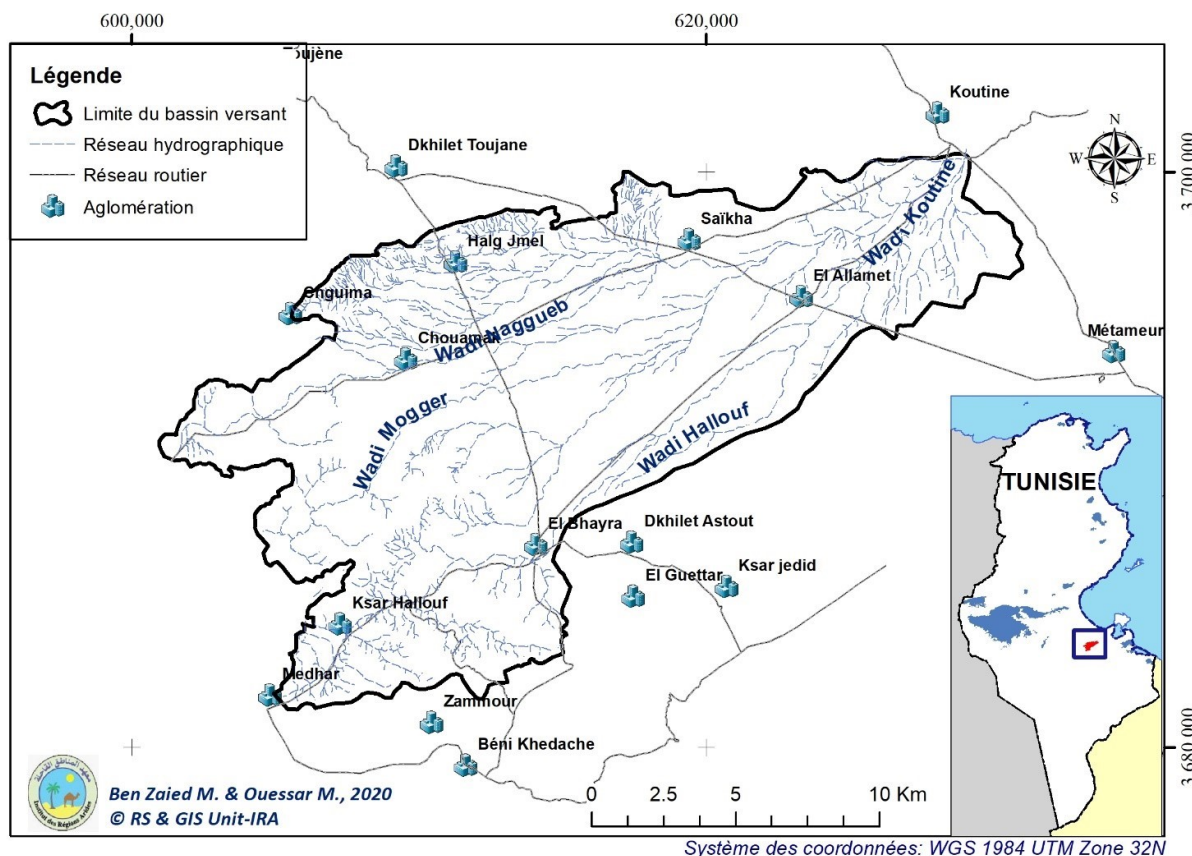


Fig. 1. Localisation du bassin versant d'oued Koutine

L'influence du désert sur le climat diminue avec l'augmentation de la latitude.

L'étude des caractéristiques climatiques consiste à une analyse des conditions hydrologiques de la répartition de pluie et la variation de la température. La région est connue par une irrégularité de la distribution pluviométrique qui a des effets néfastes la gestion des ressources naturelles et le développement de la production agricole.

Les précipitations sont, généralement, faibles et peu fréquente (environ 30 jours de pluie par an) dans la région de Médenine. La pluviométrie annuelle n'a qu'une valeur indicative. C'est, essentiellement, sa régularité ou plutôt sa variabilité qui caractérise le climat. La région est, ainsi, caractérisée en plus de la faible quantité de précipitation, par une variabilité mensuelle importante (Ellouze *et al.*, 2009). A l'échelle du bassin versant d'oued Koutine, nous remarquons que la pluviométrie moyenne annuelle s'atténue en passant de l'amont à l'aval. La zone d'étude se distingue par deux régions pluviométriques : La région amont, constituée par les délégations du Béni Khedache qui est la plus arrosée et où la pluviométrie moyenne annuelle est de 234 mm; La région avale, constituée par la délégation de Médenine Nord qui est la moins arrosée et où la pluviométrie moyenne annuelle est inférieure à 162 mm (DGRE, 2018).

Le bassin versant d'oued Koutine se caractérise par des températures généralement élevées témoignant d'un climat thermique de type méditerranéen assez chaud. Les températures moyennes annuelles de l'air des stations de Médenine et Ben Khedache varient entre 19,7 à Beni khedache et 21,0°C à Médenine. L'évapotranspiration, qui constitue une caractéristique fondamentale de climat, représente l'évaporation du sol et la transpiration des plantes. Cette notion permet de mieux interpréter l'incidence de la sécheresse sur la production végétale. Plusieurs formules ont été élaborées pour l'estimation de l'évapotranspiration potentielle (Wilm, Thornthwaite *et al.*, 1944, Penman & Keen, 1948, Turc, 1961). L'évapotranspiration potentielle est très importante, elle attend une valeur élevée (1568 mm) dans la région de Médenine ce qui accentue davantage la sécheresse.

Les faibles précipitations, les températures élevées et l'ETP intense déterminent un bilan hydrique largement déficitaire à l'échelle mensuelle, ce déficit s'élève à plus de 200 mm dans la quasi-totalité de la région d'étude. Le ruissellement moyenne annuelle a est estimé à

8.74 millions de mètre cube par an (Fersi, 1985). De ce fait, (faibles taux de précipitations annuels et variabilité spatio-temporelle, ainsi que de l'altitude relativement élevée du bassin versant de la Koutine) différentes techniques de collecte des eaux de surface ont été mises en œuvre (exemple : Jessour et Tabia, ouvrages de recharges, ...). Les Jessours sont principalement construits dans les zones montagneuses du bassin versant. Le Jessour est une ancienne technique de collecte d'eau qui est construite dans les cours d'eau inter-montagneux pour intercepter le ruissellement et les sédiments (Ouassar *et al.*, 2009).

2.2. Méthodes

Les apports sédimentaires sont enregistrés essentiellement à l'amont des ouvrages en gabions localisés au niveau des lits des oueds. En effet, un inventaire sur les caractéristiques de ces ouvrages dans la zone d'étude a montré que les taux de colmatage sont plus élevés dans les parties amont et centrale de moment où l'apport solide provenant de la zone montagneuse est intercepté par les premiers ouvrages rencontrés situés en amont et au centre du bassin versant. Toutefois, plus que la moitié de ces ouvrages montrent un taux de colmatage supérieur à 50% et présentent une conductivité hydraulique moyenne de 105 mm/h au centre du bassin 29 mm/h en amont et 56 mm/h dans la parie aval (Bosch *et al.*, 2014).

La détermination des caractéristiques du sol derrière les ouvrages de recharge par réalisation des profils de résistivités électriques associés à des levés topographiques est supposée être une méthode efficace pour estimer le rendement des sédiments et évaluer l'efficacité de l'infrastructure hydraulique à différents niveaux dans les petits et moyens bassins versants.

Les ouvrages en gabions sont des structures de recharge et de lutte contre l'inondation très importantes dans la zone d'étude. Cette partie vise à définir les propriétés physiques des sédiments déposés derrière six ouvrages en gabions distribués en amont, au centre et en aval du bassin versant de Koutine. La détection des caractéristiques des sédiments est basée sur la tomographie par résistivité électriques (ERT), soutenue par l'analyse du sol et les levés topographiques du terrain.

Les mesures ERT ont été effectuées à l'aide de Syscal Junior / R1 + développé par IRIS Instruments (IRIS, 2012). L'instrument se compose d'un système multi-électrodes équipé d'une unité de contrôle pour exécuter des profils

de résistivité électrique 2D. Le système est composé d'une unité centrale de traitement englobant une transmission de courant et d'une unité de réception de tension potentielle, et a plusieurs commutateurs qui permettent de connecter 72 électrodes en acier inoxydable pour transmettre courant et pour mesurer le potentiel de tension à n'importe quelle combinaison de quatre électrodes le long du profil. Pour collecter les données de résistivité électrique, 72 électrodes ont été utilisées et alignées en profil 2D. Les paramètres de séquence peuvent être préprogrammés à l'aide du logiciel Electre Pro de Syscal pour déterminer le type de réseau d'électrodes optimal, l'espacement des électrodes et pénétration en profondeur nécessaire pour les objectifs de l'étude. Le réseau d'électrodes Schlumberger-Wenner a été utilisé avec espacement des électrodes allant de 0.5 à 4 m, selon la profondeur de pénétration nécessaire.

Les profils des résistivités électrique est faite sur environ dix lignes en adoptant le dispositif wenner-schlumberger avec différentes configurations et en utilisant 72 électrodes qui ont été plantées et disposées selon un motif droit le long du profil de mesures (Fig. 2). L'emploi du dispositif Wenner-Schlumberger est recommandé pour les terrains à l'amont des ouvrages en gabions qui présentent à la fois des structures horizontales et verticales. C'est un dispositif généralement peu bruité et permet l'acquisition d'un nombre plus important de points.

Les données de résistivité ont été inversées à l'aide du programme Res2Dinv (Aarhus-GeoSoftware, 2022). Les échantillons du sol sont

prélevés pour l'analyse au laboratoire et utilisés pour calibrer les valeurs calculées.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Tomographie des résistivités électriques (ERT)

Pour évaluer l'impact des ouvrages en gabions, des profils ERTs sont réalisés à différents endroits du bassin versant (amont, centre et aval). Cependant, l'emplacement des profils a été choisi dans le retenu de l'ouvrage puits afin d'aider à la quantification de l'apport sédimentaire (Fig. 3). Les profils de résistivité électrique ont été réalisés dans deux sites par endroits (Tableau 1). Pour tous les profils de résistivité électrique, on a utilisé 72 électrodes avec une ligne de relevé d'espacement des électrodes variable de 0.5 à 4 m, ce qui a donné des profils de longueur situé entre 36 et 288 m.

La résistivité des sols a tendance à diminuer lorsque la porosité augmente. Cependant, la résistivité ne correspond pas toujours à la porosité, même dans le même type du sol, en raison de compositions minérales et de géométries de pores différentes. La résistivité des roches augmente avec l'augmentation de la résistivité du fluide, quel que soit le type du sol. Cependant, entre 20 et 100 ohms m, qui est la résistivité disponible des eaux dans les massifs rocheux, la résistivité des fluides a peu d'effet sur la résistivité des sols. Cette résistivité diminue avec l'augmentation de la saturation en eau. De plus, pour les sols non saturés, elle augmente de façon exponentielle avec la diminution de la saturation en eau. La relation directe entre la perméabilité et la résistivité



Fig. 2. Dispositifs de mesure des résistivités électriques (ERT)

électrique est principalement due à la conductivité de surface qui diminue au fur et à mesure que le sol devient plus grossier.

3.2. Profils (ERTs) à l'amont du bassin versant

L'interprétation des valeurs de résistivité

Tableau 1. Profils de tomographie par résistivités électriques (ERT)

Profil	Localisation	Espacement (m)	Longueur (m)
ERTMG1_P1	Oued Mogger (amont)	1.0	72
ERTMG05_V1		0.5	36
ERTHL1_P1	Oued Hallouf (Amont)	1	72
ERTHL05_V1		0.5	36
ERTSK1_P1	Oued Hallouf (centre)	1	72
ERTSK05_V1		0.5	36
ERTALM1_V1	Oued Nagueb (centre)	1.0	72
ERTALM05_V2		0.5	36
ERTALM1_P1		1.0	72
ERTNG1_V1	Oued Nagueb (aval)	1.0	72
ERTNG2_P1		2.0	144
ERTKT1_V1	Oued Koutine (aval)	1.0	72
ERTKT4_V2		4.0	288

MG : Mogger ; HL : Hallouf ; SK : Saikha ; ALM : Allamet Mechlouch ; NG : Nagueb ; KT : Koutine; P: parallèle au lit d'oued; V: vertical au sens d'écoulement

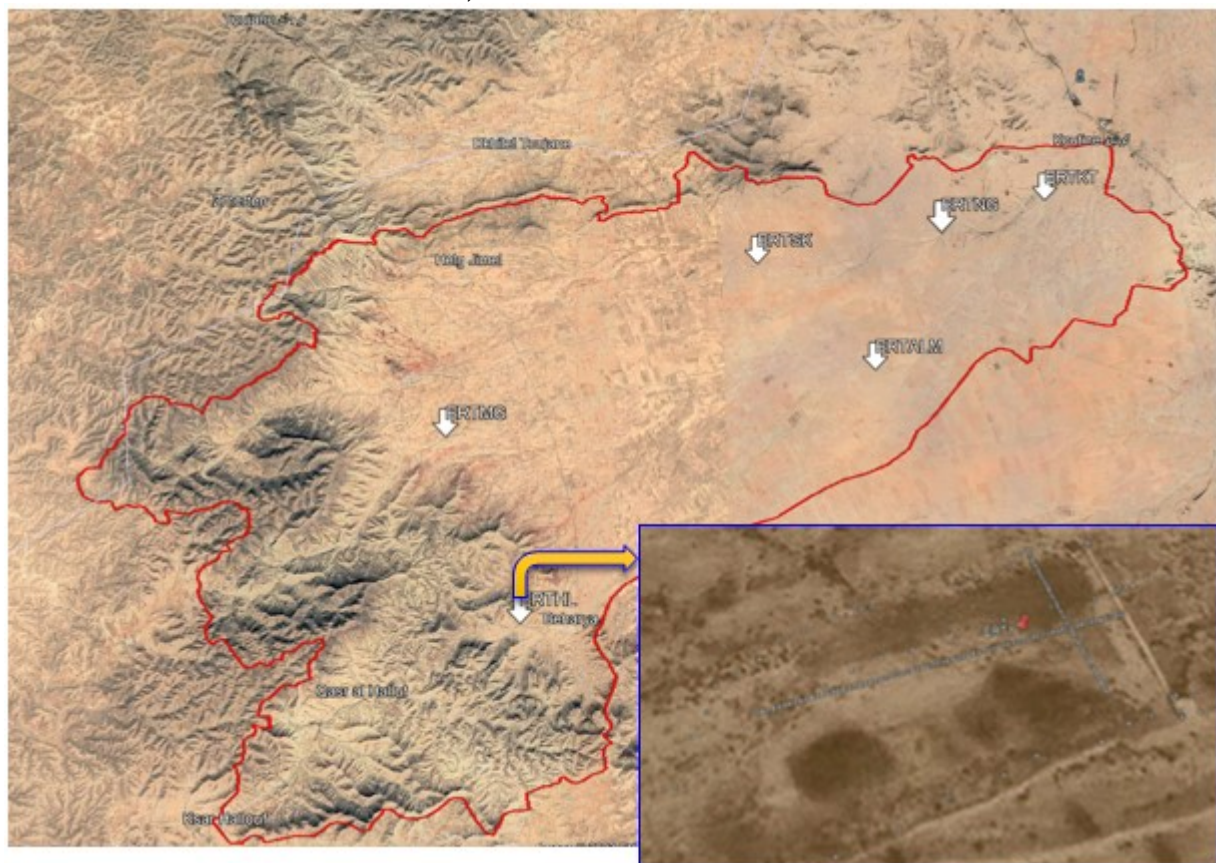


Fig. 3. Localisation des profils des résistivités électriques

déduites de la tomographie de résistivité électrique au niveau des sites sur oued Hallouf (ERTHL) et oued Mogger (ERTMG) dans la partie amont du bassin versant (Fig. 4a, b ; 5a, b) indique une variabilité spatiale et temporelle des propriétés physiques du sol. Deux profils de résistivité électrique ont été réalisés au niveau d’oued Hallouf, en utilisant la configuration wenner-schlumberger, et d’espacement de 1 m et 0.5 m entre les électrodes pour obtenir, respectivement, 15 et 3 m de profondeur :

- ERTHL1_P1 (Fig. 4a) indique des valeurs de résistivité très élevées, cela est expliqué par la réponse électrique d’une couche superficielle que ne dépasse pas 1 m de profondeur, clairement indiqué sur le profil ERTHL05_V1 (Fig. 4b). Cette couche présente les dépôts alluviaux d’oued Hallouf, que devient plus épaisse en allant vers l’Est. Il s’agit probablement de sable et gravier avec des couches de limon (Tableau 2).
- ERTHL05_V (Fig. 4b) passe orthogonalement par rapport à oued Hallouf, pour montrer la distribution des résistivités dans ce site. Il

indique une couche conductrice (70-100 Ohm m) présentant une lithologie sableuse légèrement humide (Tableau 2).

Les profils ERTMGs sont réalisés sur l’un des principaux affluents (oued Mogger) dans sa partie amont. L’interprétation des valeurs de résistivité déduites de la tomographie de résistivité électrique au niveau de ce site (Fig. 5a, b) indique une variabilité spatiale et temporelle des propriétés physiques du sol. Deux profils de résistivité électrique ont été réalisés au niveau d’oued Mogguer, en utilisant la configuration wenner-schlumberger, et de 1 m et 0.5 m espacement entre les électrodes pour obtenir, respectivement, 15 et 3 m de profondeur :

Les valeurs élevées de résistivité sont associées à des sédiments sableux à graveleux et légèrement fracturés avec des sols secs, tandis que les valeurs faibles indiquent des sols à texture fine. Les profils ERT indiquent que la conductivité augmente avec la profondeur. Au site d’Oued Mogguer (Fig. 5a, b), les profils ERT montrent une couche avec des valeurs de résistivités faibles (< 200 Ohm m) et environ 2 m

Tableau 2. Analyse du sol aux sites de différents profils

Site	Argile	Limon	Sable	Type du sol
ERTHL	6.55	4.90	88.00	Sable limoneux
ERTMG	9.35	6.65	83.42	Sable limoneux
ERTALM	6.44	1.56	91.59	Sable
ERTSK	15.00	8.00	76.29	Limon sableux
ERTKT	6.12	2.13	91.16	sable
ERTNG	8.63	4.40	86.49	Limon sableux

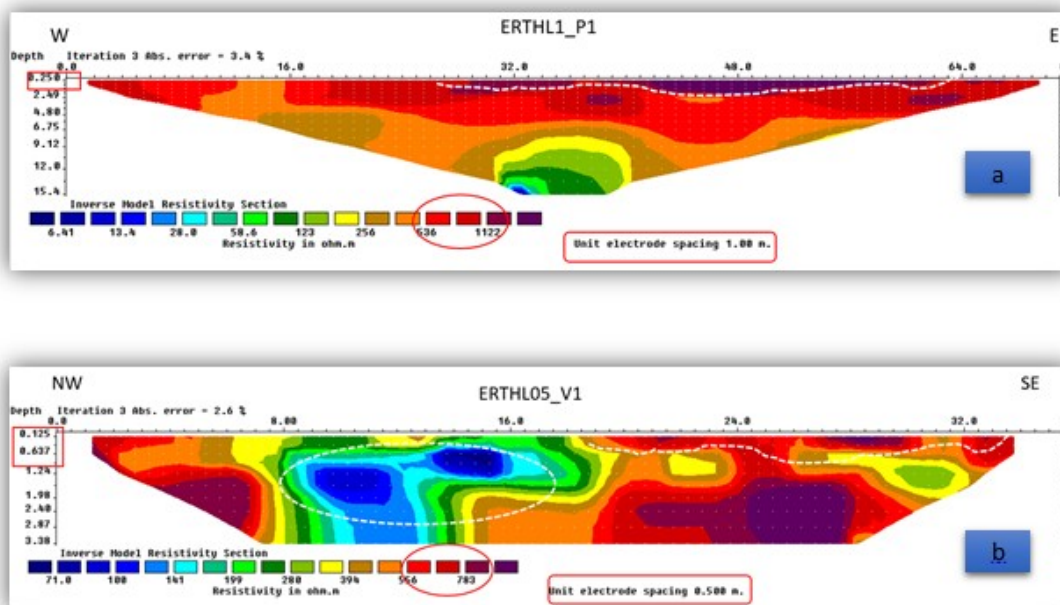


Fig. 4. Tomographie de résistivité électrique au niveau des sites sur oued Hallouf (ERTHL)

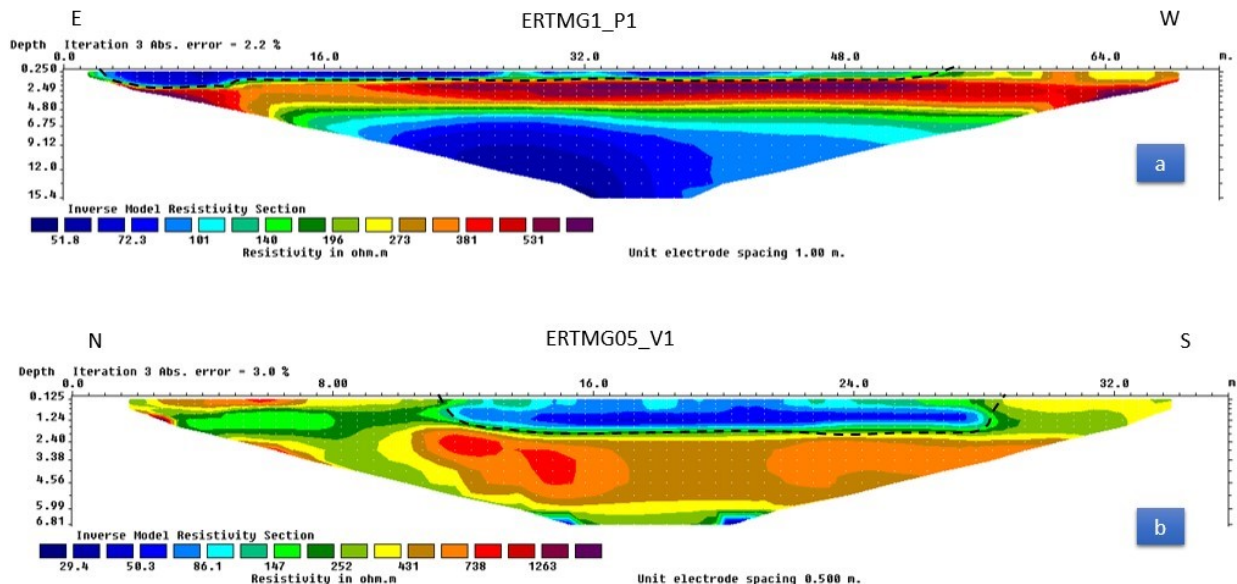


Fig. 5. Tomographie de résistivité électrique au niveau d’oued Mogguer (ERTMG)

d'épaisseur. Cette couche est interprétée comme un dépôt alluvial, Elle présente une distribution de résistivité de 30 à 150 Ohm m, elle peut être interprétée comme une couche à texture fine très poreux et présente une perméabilité appréciable en état humide (ERTMG05_V1). Les résultats de la résistivité électrique au site sur oued Mogguer (Fig. 5a, b) indiquent une augmentation de l'épaisseur des dépôts pour atteindre plus de 2 mètres (>2m). La faible résistivité au niveau de la couche superficielle (Fig. 5a) est expliquée par la réponse électrique des dépôts de sable limoneux et limon sableux (<100 Ohm m), tandis que dans le second profil (Fig. 5b) les lithologies sont généralement des sables limoneux dont la résistivité valeur entre 50 et 100 Ohm m. Ces profils montrent que la conductivité du sous-sol augmente avec la profondeur. La couche de surface des sédiments indique une résistivité qui varie entre 30 et 150 Ohm m, ceci peut s'expliquer par la nature lithologique (sable limoneux) des dépôts légèrement humide au niveau d'oued Mogguer et aussi l'épaisseur de ces dépôts.

3.3. Profils (ERTs) au centre du bassin versant

Au niveau de site de Allamat El Mechlouch, les profils orthogonaux (V1 et V2) indiquent une couche superficielle d'épaisseur de 1 à 2 m et de forte résistivité (> 1000 Ohm m), cette couche peut être considérée des dépôts alluviaux. La

Fig. 6 montre une forte résistivité au niveau de la couche superficielle (ERTALM1_V1) expliquée par la réponse électrique des dépôts de sable siliceux (200 – 3000 Ohm m), dans le deuxième profile (ERTALM05_V2) la résistivité atteindre de 4000 ohm m cela est expliqué par des sables très sèches (Tableau 2).

Ces profils montrent que la conductivité du sous-sol augmente avec la profondeur. Le premier mètre du sol indique une résistivité de l'ordre de 1000 Ohm m, cela peut être expliqué par la nature lithologique de dépôts au niveau de Allamat El Mechlouch.

Les deux profils des résistivités électriques réalisés sur oued Ennagueb dans sa partie amont dans le sens orthogonal (ERTSK05_V1) et parallèle à l'écoulement (ERTSK1_P1) montrent des valeurs de résistivités qui dépassent 1000 Ohm m (Fig. 7). Les résultats de la résistivité électrique au niveau de ce site indiquent une augmentation de l'épaisseur des dépôts pour atteindre plus de trois mètres (>3m). Ceci peut être expliqué l'endroit des profils, situés à l'aval de l'intersection de deux principaux affluents. La forte résistivité au niveau de la couche superficielle est expliquée par la réponse électrique des dépôts de limon sableux (1000-1400 Ohm m). Ces profils montrent que la conductivité du sous-sol diminue avec la profondeur.

3.4. Profils (ERTs) en aval du bassin versant

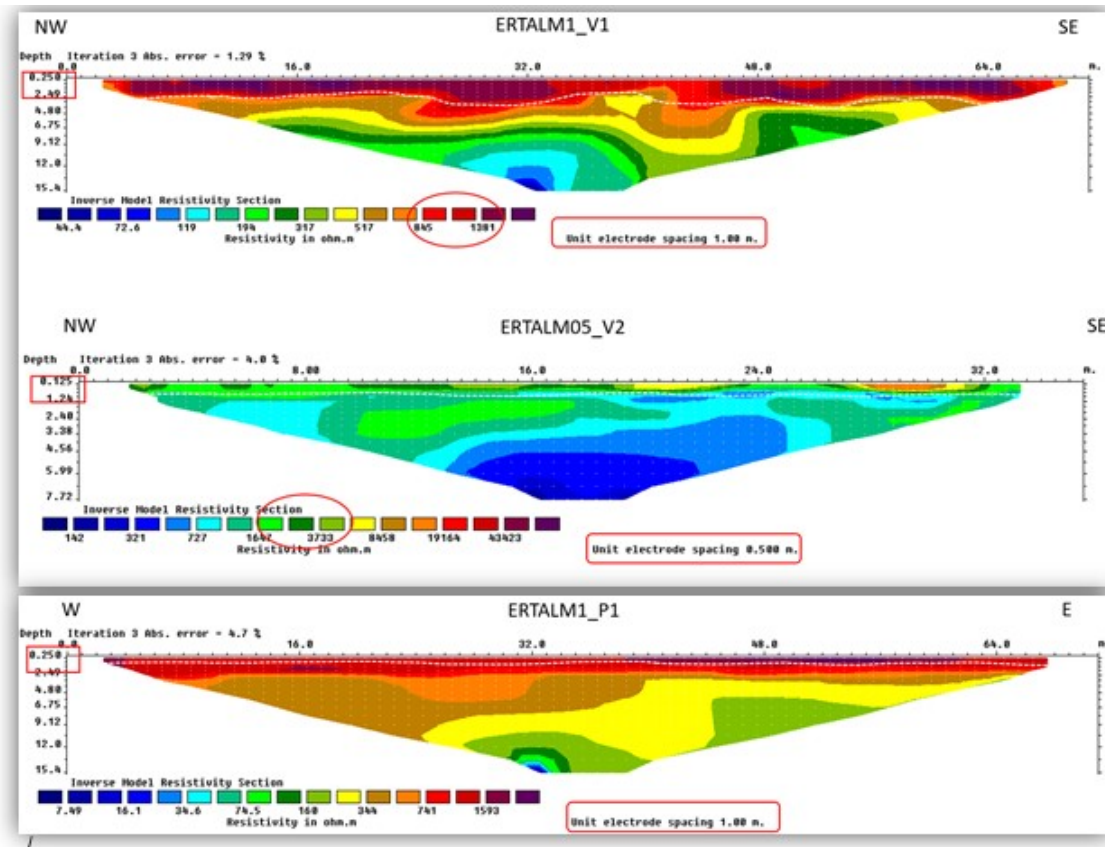


Fig. 6. Tomographie de résistivité électrique au niveau d’oued Mogguer(ERTALM)

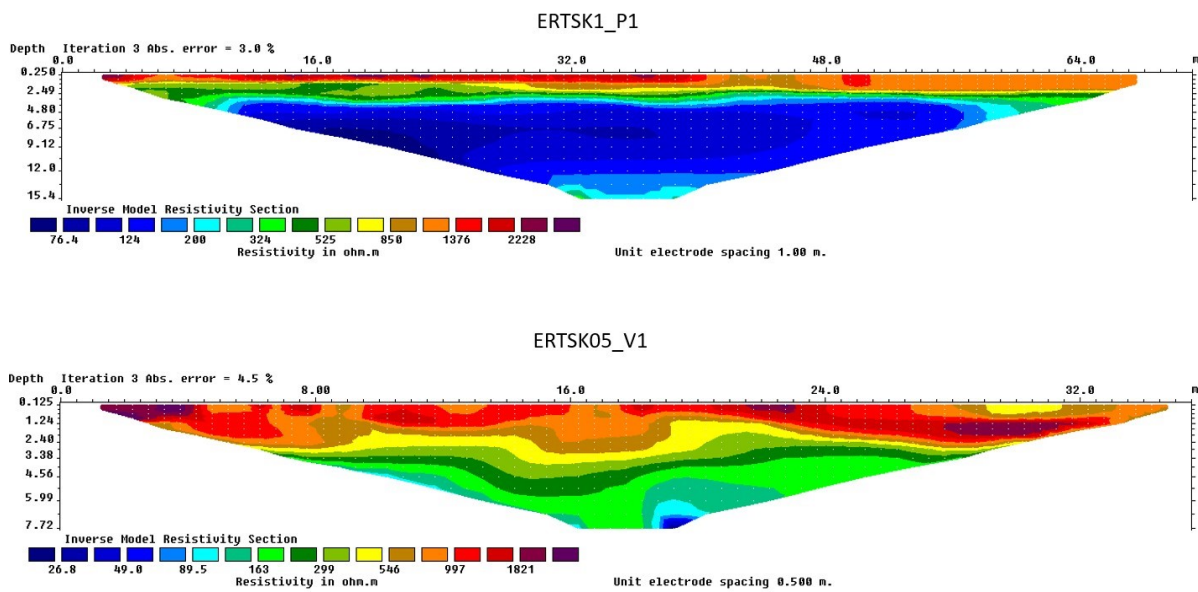


Fig. 7. Tomographie de résistivité électrique au niveau d’oued Ennagueb amont (ERTSK)

Les valeurs de résistivité électrique dans cette partie aval montrent une diminution des dépôts de sédiments par rapport à l’amont du bassin. L’interprétation des valeurs de résistivité déduites de la tomographie de résistivité électrique au niveau des sites sur oued Koutine (ERTKT) et oued Nagued (ERTNG) dans la partie aval du bassin versant (Fig. 8, 9) indique une

variabilité spatiale et temporelle des propriétés physiques du sol. Les valeurs élevées de résistivité sont associées à des sédiments sableux à graveleux et légèrement fracturés avec des sols secs, tandis que les valeurs faibles indiquent des sols argileux. Les profils ERT indiquent que la conductivité augmente avec la profondeur. Au site d’Oued Nagued (Fig. 8), les

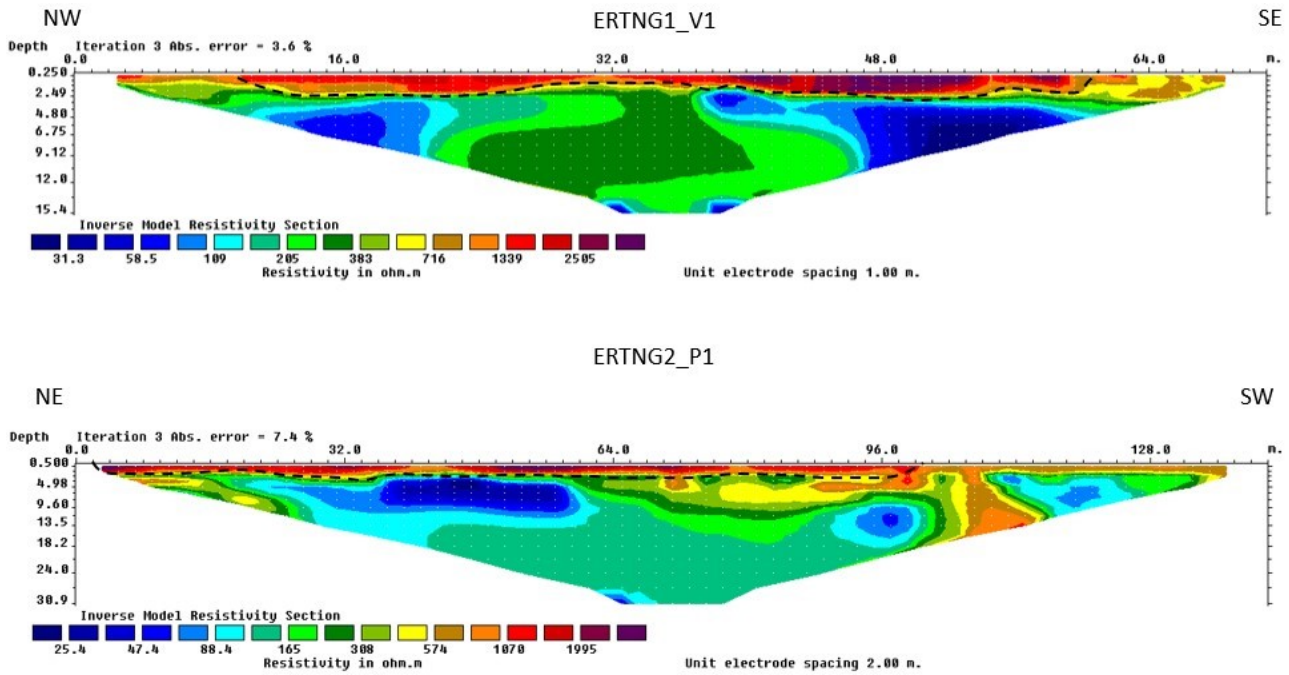


Fig. 8. Tomographie des résistivités électriques au niveau d'oued Ennagueb aval (ERTNG)

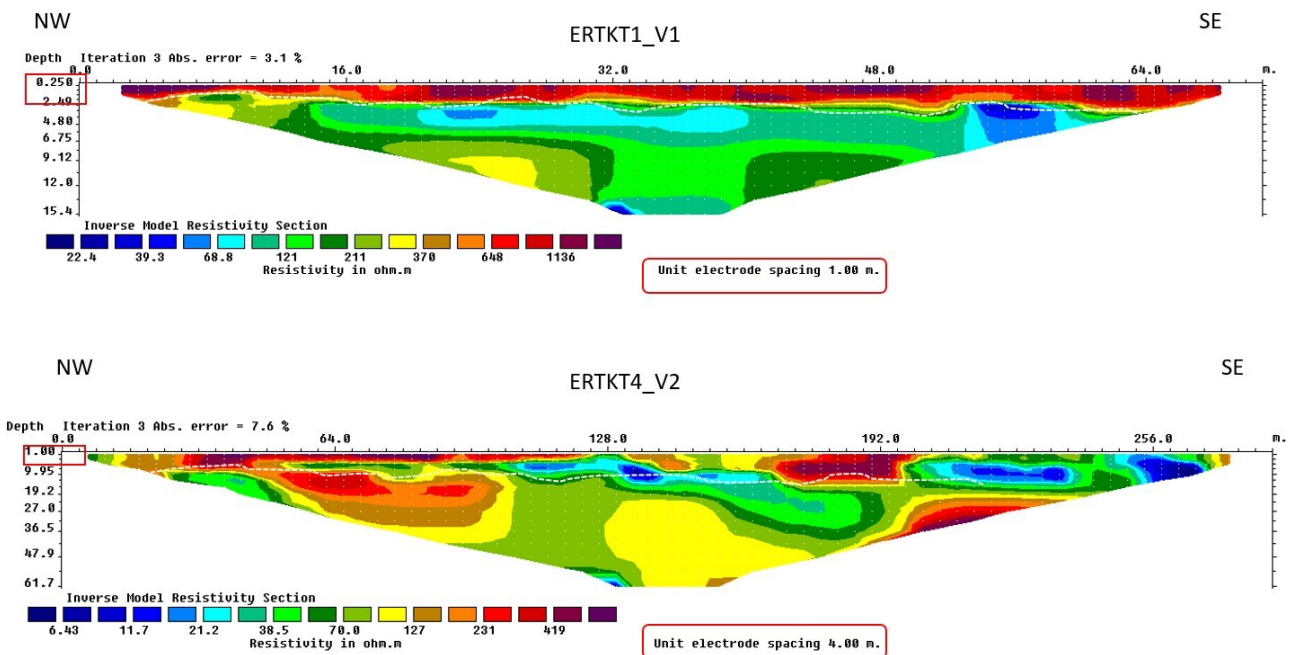


Fig. 9. Tomographie des résistivités électriques au niveau d'oued Koutine (ERTKT)

profils ERT montrent une couche avec des valeurs de résistivités élevées (> 500 Ohm m) et environ 2 m d'épaisseur. Cette couche est interprétée comme un dépôt alluvial. La première couche du sol d'épaisseur 1,5 m, à partir de la surface, présente une distribution de résistivité de 700 à 2500 Ohm m, elle peut être interprétée comme une couche imperméable. En hydrologie, les argiles se comportent comme des roches imperméables. Ils sont très poreux et

présentent une perméabilité appréciable, lorsqu'ils sont secs, Mais en état humide, les films d'eau absorbés par la couche d'argile la rendent imperméable. Les résultats de la résistivité électrique au site sur oued Koutine (Fig. 9) indiquent une augmentation de l'épaisseur des alluvions pour atteindre plus d'un mètre (>1m). La forte résistivité au niveau de la couche superficielle est expliquée par la réponse électrique des dépôts de sable siliceux

(200 – 3000 Ohm m), tandis que dans le second profil (Fig. 9) les lithologies sont généralement des sables argileux dont la résistivité varie entre 200 et 400 Ohm m. Ces profils montrent que la conductivité du sous-sol augmente avec la profondeur. Le premier mètre du sol indique une résistivité d'environ 700 Ohm m, ceci peut s'expliquer par la nature lithologique des dépôts au niveau d'oued Koutine et aussi l'épaisseur de ces dépôts.

Les résultats de l'ERTs et l'analyse granulométrique dans les retenues des ouvrages en gabions montrent la présence d'un dépôt des sédiments (provoqués par les processus érosifs à l'échelle du bassin) avec une épaisseur qui varie de 1 à 3 mètres. Dans la majorité des sites de prospection électrique, la couche supérieure montre une texture fine en plus de résistivité électrique élevée et par conséquent une faible conductivité hydraulique des bassins de rétention. L'interprétation des valeurs des résistivités indique une variabilité spatiale et temporelle des propriétés physiques du sol. Ces résultats seront bénéfiques pour les décideurs pour évaluer la performance des structures de recharge et gérer de façons appropriées les ressources du sol en se basant sur des preuves scientifiques.

4. CONCLUSION

En présence d'un nombre important des ouvrages de recharge, l'érosion à l'échelle du bassin versant provoque un dépôt sédimentaire important qui réduit de manière significative l'efficacité de ces ouvrages en gabions. En effet, pour augmenter perméabilité au niveau des sites de recharge, il serait utile de procéder au curage périodique des retenues pour déplacer la couche de surface qui présente une résistivité élevée en plus de sa texture fine. D'autre part, le travail du sol (plantation de retenue) pourrait être une solution bénéfique aussi bien pour la recharge que sur le plan économique (amélioration des revenus) pour les agriculteurs au voisinage. Finalement, l'aménagement des puits filtrants existant par des chambres de recharges et la création d'autres puits filtrants permettra d'augmenter l'infiltration de façon remarquable et réduire les volumes d'eau évaporés à partir des bassins de rétention.

REMERCIEMENTS

Nous remercions Messieurs, Messaoud Guied et Hedi Kerdi, techniciens au laboratoire d'Érémologie et Lutte Contre la Désertification (LR16IRA01) de l'IRA pour leur assistance

technique sur le terrain. Nous tenons aussi à remercier tous les collègues qui ont contribué aux travaux du terrain, et aux analyses en laboratoire.

REFERENCES

- Aarhus-GeoSoftware (2022). Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least-squares method Wenner (α, β, γ), dipole-dipole, inline pole-pole, poledipole, equatorial dipole-dipole, offset pole-dipole, Wenner-Schlumberger, gradient and non-conventional arrays On land, aquatic, cros (October).
- Albergel, J., Pepin, Y., Nasri, S. L. A. H., & Boufaroua, M. O. H. A. M. E. D. (2003). Erosion et transport solide dans des petits bassins versants méditerranéens. *IAHS PUBLICATION*, 373-379.
- Ballais, J. (2018). Trois thèses sur les précipitations en Tunisie : Kassab F., (1979). - Les très fortes pluies en Tunisie ; Henia L., (1980). - Les précipitations pluvieuses dans la Tunisie tellienne ; Bousnina A., (1986). - La variabilité des pluies en Tunisie (1979), 75-76.
- Bates, B., Kundzewicz, Z., & Wu, S. (2008). *Climate change and water*. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat.
- Bosch, S. van den, Hessel, R., Ouessar, M., Zerrim, A., & Ritsema, C. J. (2014). *Determining the saturated vertical hydraulic conductivity of retention basins in the Oum Zessar watershed, Southern Tunisia* (No. 22). Alterra, Wageningen/Institut des Régions Arides, Tunisia.
- DGRE, (Direction Générale des ressources en eau). (2018) Annuaire pluviométrique. Ministère de l'Agriculture, Tunis.
- Ellouze, M., Azri, C., & Abida, H. (2009). Spatial variability of monthly and annual rainfall data over Southern Tunisia. *Atmospheric Research*, 93(4), 832-839.
- Escadafal, R., Mtimet, A., & Asseline, J. (1986). Etude Expérimentale de la Dynamique Superficielle D'un sol Aride (Bir Lahmar-Sud Tunisien): Résultats des Campagnes de Mesures Sous Pluies Simulées.
- Fersi, M. (1985) Etude hydrologique sur Oued Oum Ezzessar à Koutine.
- Floret, C. & Pontanier, R. (1982). L'aridité en Tunisie présaharienne : climat, sol, végétation et aménagement - fdi:02461 - Horizon. *ORSTOM, Paris*. Retrieved December 8, 2020, from <https://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:02461>

- Gaddas, F., Stambouli, T. & M.C, D. (2010). Evaluation du risque d'érosion hydrique. *Rev. l'INAT* 25, 107-119.
- Ghorbel, A. & Claude, J. (1982). Mesure de l'envasement dans les retenues de sept barrages en Tunisie: estimation des transports solides.
- Huntington, T. G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1-4), 83-95.
- IRIS. (2012). SYSCAL Junior / R1 + Switch Résistivimètres Multi-électrode à 2 voies pour mesure de Résistivité et PP 33(0), 0-59.
- Jebari, S., Berndtsson, R., Bahri, A., & Boufaroua, M. (2008). Exceptional rainfall characteristics related to erosion risk in semiarid Tunisia. *The Open Hydrology Journal*, 2(1).
- Jomaa, S., Barry, D. A., Brovelli, A., Heng, B. C. P., Sander, G. C., Parlange, J. Y., & Rose, C. W. (2012). Rain splash soil erosion estimation in the presence of rock fragments. *Catena*, 92, 38-48.
- Jomaa, S., Barry, D. A., Rode, M., Sander, G. C., & Parlange, J. Y. (2017). Linear scaling of precipitation-driven soil erosion in laboratory flumes. *Catena*, 152, 285-291.
- Kotti, F., Dezileau, L., Mahé, G., Habaieb, H., Bentkaya, M., Dieulin, C., & Amrouni, O. (2018). Etude de l'impact des barrages sur la réduction des transports sédimentaires jusqu'à la mer par approche paléohydrologique dans la basse vallée de la Medjerda. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 377, 67-76.
- Labat, D., Goddérès, Y., Probst, J. L., & Guyot, J. L. (2004). Evidence for global runoff increase related to climate warming. *Advances in water resources*, 27(6), 631-642.
- Mohamadi, M. A., & Kaviani, A. (2015). Effects of rainfall patterns on runoff and soil erosion in field plots. *International soil and water conservation research*, 3(4), 273-281.
- Mtimet, A. (2001). Soils of Tunisia. *Options Méditerranéennes*, 34, 243-268.
- Nasri, S., Albergel, J., Cudennec, C., & Berndtsson, R. (2004). Hydrological processes in macrocatchment water harvesting in the arid region of Tunisia: the traditional system of tabias/Processus hydrologiques au sein d'un aménagement de collecte des eaux dans la région aride tunisienne: le système traditionnel des tabias. *Hydrological Sciences Journal*, 49(2).
- Ouessar, M., Bruggeman, A., Abdelli, F., Mohtar, R. H., Gabriels, D., & Cornelis, W. M. (2009). Modelling water-harvesting systems in the arid south of Tunisia using SWAT. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(10), 2003-2021.
- Penman, H. L. (1948). Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences*, 193(1032), 120-145.
- Turc, L. (1961). Evolution des besoins en eau d'irrigation. évapotranspiration potentielle. Formule climatique simplifiée et mise à jour. *Annuaire Agronomie*.
- Wilm, H. G., Thornthwaite, C. W., Colman, E. A., Cummings, N. W., Croft, A. R., Gisborne, H. T., ... & Taylor, C. A. (1944). Report of the Committee on Transpiration and Evaporation, 1943-44. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 25(5), 683-693.