

## Article de recherche

Reçu: 06 Février 2026 / Accepté: 25 Avril 2026

# Application d'une approche simple pour le suivi de l'érosion linéaire

A. Kessaissia<sup>1</sup>, M. Hattab<sup>2</sup>, A. Dilmi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institut National de Recherche Forestière (INRF) - Station de Ténès.

<sup>2</sup> Université Amar Telidji, Laghouat.

<sup>3</sup> Institut National de Recherche Forestière (INRF) - bainem cherraga Alger

\* Auteur correspondant : [kabderrahman2014@gmail.com](mailto:kabderrahman2014@gmail.com)

## ملخص

تتعرض أحواض السكب الغابية في شمال الجزائر لأنواع مختلفة من التعرية: التعرية السطحية، والتعرية الكتلية، والتعرية الخطية. وتُعد الأخيرة أشدّها وأكثرها تأثيراً. تُقدّم هذه الدراسة منهجاً بسيطاً لرصد هذا النوع من التعرية، اعتماداً على القياسات الميدانية واستخدام برنامج إكسل لتمثيل المقاطع العرضية للأخاديد بيانياً، ومن ثمّ تحديد حجمها وتقدير كتلة التربة المُزاحة. تُظهر نتائج رصد قطعة أرض مُحوّلة إلى حاجز ناري ظهور ستة أخاديد بأحجام مُختلفة خلال عام واحد من الأرض غير المحمية. قُدّر حجم الأخاديد بـ 0.2447 متر مكعب. تُقابل هذه القيمة كمية التربة المُزاحة بفعل التعرية الخطية خلال عام واحد، والتي قُدّرت بـ 318.11 كيلوغراماً لقطعة أرض مساحتها 3000 متر مربع، وهو ما يُعادل معدل انفصال للتربة قدره 0.11 كيلوغرام/متر مربع. قد تشير هذه القيمة إلى مدى التعرية الخطية في تربة الواقعة في المنحدرات غير المحمية. **كلمات مفتاحية:** التربة، التعرية المائية، احدود، مقارنة.

## Abstract

The forested watersheds of northern Algeria are exposed to various forms of erosion: sheet erosion, mass erosion, and linear erosion. The latter is the most pronounced and aggressive form. This study presents a simple approach to monitoring this form of erosion, based on field measurements and the use of Excel software for graphically representing the cross-sections of rills and subsequently determining their volume and the mass of soil detached. The results of monitoring a plot converted into a firebreak show that, during one year of unprotected operation, six rills of varying sizes appeared. The volume of the rills is estimated at  $V = 0.2447 \text{ m}^3$ . This value corresponds to the amount of soil displaced by linear erosion during one year, estimated at 318.11 kg for a  $3000 \text{ m}^2$  plot, which corresponds to a soil detachment rate of  $0.11 \text{ kg/m}^2$ . This value could indicate the extent of linear erosion in the soils of unprotected slopes.

**Keywords:** soil, water erosion, rill, approach.

## Résumé

Les bassins versants forestiers du nord algérien sont exposés aux différentes formes d'érosion : l'érosion en nappe, l'érosion en masse et l'érosion linéaire. Cette dernière est la forme la plus manifestée et la plus agressive. La présente étude montre une nouvelle approche de suivi de cette forme d'érosion basée sur des mesures sur terrain et l'utilisation du logiciel Excel pour la représentation graphique des section transversale des rigoles et la détermination par la suite du volume des rigoles et l'estimation de la masse du sol détachée. Les résultats d'un suivi au niveau d'une parcelle reconvertie en tranchée par feu montrent qu'au cours d'une année de mise sans protection l'apparition de six rigoles de différentes dimensions. Le volume des rigoles est estimé à  $V = 0,2447 \text{ m}^3$ . Cette valeur correspond à la quantité du sol déplacée par l'érosion linéaire au cours d'une année et qui est estimée à 318,11 kg au niveau d'une parcelle de  $3000 \text{ m}^2$  ce qui correspond à une quantité de détachement du sol de  $0,11 \text{ kg/m}^2$ . Cette valeur pourrait montrer l'ampleur de l'érosion linéaire dans les sols des versants non protégés.

**Mots clés :** sol, érosion hydrique, rigole, approche.

## 1. Introduction

L'érosion hydrique est un problème environnemental parmi les principales causes de la dégradation des sols dans le monde. Elle est caractérisée par quatre formes d'érosion (érosion en nappe, érosion en rigole, érosion en ravine et l'érosion fluviale). Parmi ces formes, l'érosion en rigole est considérée comme la forme la plus manifestée dans la dégradation des sols dans la région méditerranéenne, son ampleur est considérable avec la présence des facteurs favorables tels que la fragilité du sol, la pente des bassins versants (modérée à élevée), la diminution de la couverture végétale à cause des incendies et du surpâturage et l'irrégularité des pluies. En présence de ces conditions, la concentration du ruissellement s'effectue rapidement et le détachement du sol devient plus important. (Knapen et al. 2007 ; Govers et al. 2008). Avec la concentration du ruissellement, l'érosion en rigole devienne la principale source de sédiments et le mécanisme primordial de l'érosion à l'échelle du versant. (Kimaro et al. 2008 ; Angulo-Martínez et al. 2012 ; Zhang et al. 2017 ; Zhang et al. 2024). En outre, plusieurs études ont montré qu'elle influence d'une manière significative d'importants aspects physiques, chimiques et biologiques du sol (knapen et al. 2007 ; Geng et al. 2017 ; Wang et al. 2019) et que la quantité d'érosion est 2 fois à 13 fois plus élevés dans les terres agricoles que les terres forestières (Zhang et al. 2008) grâce à l'effet de la végétation et son système racinaire. En effet, Hao et al. (2020) ont montré que les racines de la végétation améliorent plusieurs paramètres physiques du sol surtout la réduction de la capacité de détachement du sol par le ruissellement concentré.

Afin de contrôler l'évolution de l'érosion linéaire des rigoles plusieurs méthodes et approches ont été appliquées sur la base des essais dans les laboratoires, des essais dans les champs et des images satellitaires (Vreiling, 2008, Fiorucci et al. 2015, Pothier et al. 2016 ) des images photo aériennes (Gressesse et al. 2010 ; Malinowski et al. 2023).

Cette étude présente une approche de suivi des formes d'érosion (les rigoles) dans les champs et qui pourrait être utile dans le suivi et le contrôle de

l'érosion linéaire et l'évaluation des mesures de conservation. Ainsi, l'objectif de cette étude est :

- d'appliquer une approche simple du suivi de l'érosion en rigole
- d'évaluer le détachement du sol par l'érosion en rigole.

## 2. Matériel et méthode

### 2.1. Caractéristiques de la zone d'étude

La zone d'étude (Figure 1) est caractérisée par : des altitudes de 50 à 650 m, un relief assez élevé dont l'indice spécifique est de  $100 \leq Ds \leq 250$ , un réseau hydrographique ramassé dont l'indice de Gravius est d'environ 1,0682 et des sols dominés par des marnes.

Le climat est caractérisé par une pluviométrie moyenne de 448 mm et une température moyenne annuelle de 18,5 °C. En termes saisonniers, les températures varient entre 11,9 °C en décembre, généralement accentuées par la proximité des effets maritimes et 29,9 °C en août.

La région d'étude a enregistré une réduction importante de la surface du couvert forestier et l'augmentation de la surface des maquis comme il est montré dans le Tableau 1.

La réduction du couvert végétal avec la présence d'un sol moins résistant dont les argiles pré-

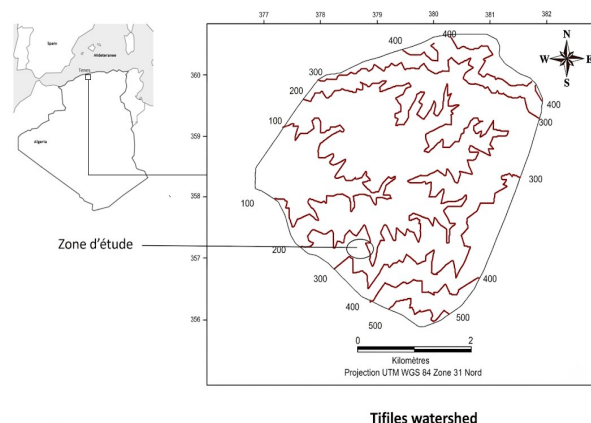


**Figure 1.** Situation de la zone d'étude

**Tableau 1** : Occupation du sol dans la zone d'étude en km<sup>2</sup>

| Date | Forêt | Maquis et forêt incendié | Terre de culture | Terre nue |
|------|-------|--------------------------|------------------|-----------|
| 1987 | 3.68  | 4,32                     | 4,48             | 3,52      |
| 2001 | 4.16  | 5,16                     | 3,52             | 4,32      |
| 2011 | 1.76  | 6,08                     | 4,32             | 3,84      |

sentant plus de 57 % de la surface total et un relief accidenté avec plus de 53 % de la surface appartenant aux

classes de pente supérieur à 15 % ont rendu la zone de plus en plus sensible à l'érosion linéaire.

## 2.2. Dispositif expérimental

Le suivi de l'érosion a été réalisé sur une parcelle située dans le micro-bassin versant de Tifiles (Figure 1). La parcelle expérimentale est présentée

**Figure 2.** Parcelle de suivi de l'érosion en rigole.

sur les photographies de la Figure 2. Les mesures de terrain ont été effectuées à l'aide d'une règle graduée afin de relever les dimensions des rigoles, tandis que le logiciel Microsoft Excel a été utilisé pour le traitement des données et les calculs géométriques.

Les dimensions des rigoles ont été relevées au niveau de la section médiane de chaque tronçon. Lorsqu'une rigole comportait plusieurs tronçons, une section transversale était mesurée au milieu de chacun d'eux (Figure 3). Les profils transversaux ont ensuite été reconstitués sous Microsoft Excel en reportant la largeur de la rigole en fonction de la

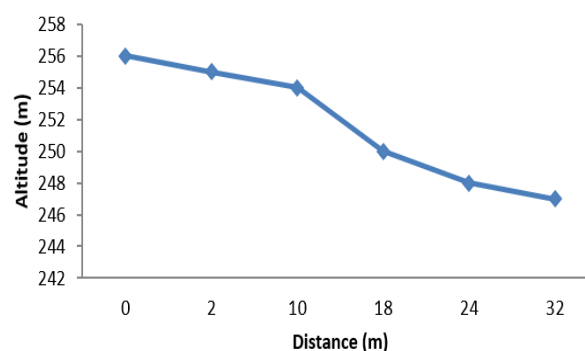
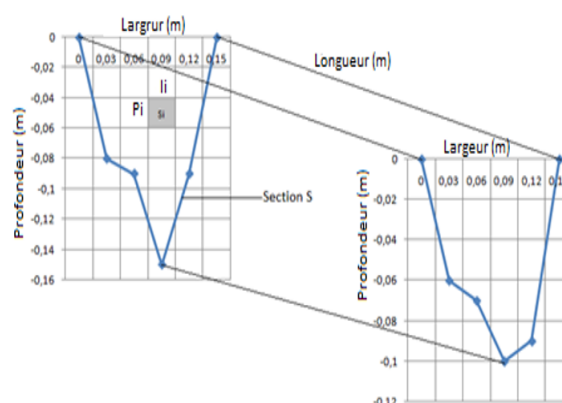
**Figure 3.** Rigole de cinq tronçons**Figure 4** : Schéma montrant la détermination de la section et le volume de la rigole.

**Tableau 2.** Équations utilisées pour l'estimation du volume et de la masse de sol érodé.

| Équation | Étape de calcul                       | Expression                          | Variables                                                                                                                                      |
|----------|---------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (1)      | La surface d'une section              | $S_i = P_i \times l_i$              | $S_i$ : surface de la section $i$ ( $m^2$ ) ; $P_i$ : profondeur moyenne de la section $i$ (m) ; $l_i$ : largeur de la section $i$ (m).        |
| (2)      | La section moyenne entre deux profils | $S_{m,i} = \frac{S_i + S_{i+1}}{2}$ | $S_{m,i}$ : section moyenne entre les sections $i$ et $i+1$ ( $m^2$ ).                                                                         |
| (3)      | Volume d'un tronçon                   | $V_i = S_{m,i} \times L_i$          | $V_i$ : volume du tronçon $i$ ( $m^3$ ) ; $L_i$ : distance entre les sections $i$ et $i+1$ (m).                                                |
| (4)      | Volume total                          | $V_t = \sum_{i=1}^{n-1} V_i$        | $V_t$ : volume total de la ravine ( $m^3$ ).                                                                                                   |
| (5)      | La densité volumique du sol           | $d = \frac{m_s}{v_s}$               | $d$ : densité volumique du sol ( $kg \cdot m^{-3}$ ) ; $m_s$ : masse de l'échantillon de sol (kg) ; $v_s$ : volume de l'échantillon ( $m^3$ ). |
| (6)      | La masse de sol détachée              | $M = d \times V_t$                  | $M$ : masse totale de sol détachée (kg) ; $d$ : densité volumique du sol ( $kg \cdot m^{-3}$ ) ; $V_t$ : volume total de sol érodé ( $m^3$ ).  |

profondeur (Figure 4). La surface de chaque section a été déterminée par la méthode du quadrillage, en utilisant le quadrillage principal horizontal et vertical d'Excel afin de faciliter le calcul de l'aire des profils. Les équations utilisées pour l'estimation du volume de sol érodé et de la masse de sol détachée sont présentées dans le Tableau 2.

### 3. Résultats

La parcelle présente six rigoles de différentes dimensions ; la longueur, la largeur et la profondeur (Tableau 3).

#### 3.1. Estimation des sections et des volumes des rigoles

Les sections sont représentées dans les Figures 5, 6 et 7.

La représentation graphique a permis de déterminer les sections moyennes et les volumes des différentes rigoles indiqués dans le Tableau 4.

#### 3.2. Estimation de l'érosion (masse du sol détachée et déplacée de la rigole)

La masse du sol détachée correspond au volume des vides (volume des rigoles) qui correspond à la

masse du sol déplacée de la rigole par l'érosion linéaire. Cette quantité est déterminée selon la formule indiquée dans la partie matériel et méthode, avec  $m = v \times d$ .

Par l'utilisation du volume déterminé, le volume total des rigoles  $V = 0,2447 m^3$  et la densité volumique du sol de la parcelle  $d = 1300 kg/m^3$ , la masse du sol détaché serait égale à :

$$m = 1300 \times 0,2447 = 318,11 \text{ kg.}$$

Cette quantité correspondent à la masse du sol détachée par l'érosion en rigole au niveau de la surface affectée réellement par les rigoles ( six rigoles au niveau d'une surface de  $3000 m^2$ ). Cette valeur correspond à une quantité de détachement du sol de  $0,106 kg \cdot m^{-2}$  qui correspond à  $1,060 t \cdot ha^{-1}$  pour une surface de  $10\,000 m^2$  ( $0,106 kg \cdot m^{-2} \times 10000 m^2$  soit une quantité de  $1060 kg$ ). Cette quantité pourrait montrer l'ampleur de l'érosion linéaire dans les sols des versants non protégés.

### 4. Discussion

Les résultats montrent que la mise d'une parcelle de  $3000 m^2$  durant une année sans protection et sans végétation, l'apparition de six rigoles de différentes dimensions (longueurs, largeurs et profondeurs). De ces trois dimensions, les profondeurs enregistrent plus de variation par rapport à la lar-

**Tableau 3 : Dimensions des rigoles**

| Rigoles | Tronçons | Alt        | Longitude                  | Latitude                     | Long. (m) | Larg. (m) | Pro. (m) |
|---------|----------|------------|----------------------------|------------------------------|-----------|-----------|----------|
| R1      | T 1      | 256<br>255 | 1°20'30,6''                | 36°30'27,3''                 | 2         | 0,08      | 0,05     |
|         | T2       | 255<br>254 | 1°20'30,9''                | 36°30'27,4''                 | 8         | 0,1       | 0,08     |
|         | T3       | 254<br>250 | 1°20'30,9''<br>1°20'31,1'' | 36°30'27,4''<br>36°30'27,5'' | 8         | 0,15      | 0,15     |
|         | T4       | 250<br>248 | 1°20'31,1''<br>1°20'31,3'' | 36°30'27,5''<br>36°30'27,4'' | 6         | 0,1       | 0,1      |
|         | T5       | 248<br>247 | 1°20'31,3''<br>1°20'31,4'' | 36°30'27,4''<br>36°30'27,6'' | 8         | 0,05      | 0,1      |
| R2      | T1       | 257<br>255 | 1°20'30,4''<br>1°20'27,1'' | 36°30'27,1''<br>36°30'27,1'' | 2         | 0,05      | 0,03     |
|         | T2       | 255<br>252 | 1°20'27,1''<br>1°20'30,9'' | 36°30'27,1''<br>36°30'27,1'' | 3         | 0,05      | 0,2      |
|         | T3       | 252<br>244 | 1°20'30,9''<br>1°20'31,3'' | 36°30'27,1''<br>36°30'27,1'' | 12        | 0,25      | 0,07     |
|         | T4       | 244<br>241 | 1°20'31,3''<br>1°20'27,1'' | 36°30'27,1''<br>36°20'31,6'' | 9         | 0,25      | 0,07     |
| R3      | T1       | 250<br>245 | 1°20'31''<br>1°20'31,3''   | 36°30'27,2''<br>36°30'27,3'' | 16        | 0,05      | 0,06     |
| R4      | T1       | 240<br>239 | 1°20'31,8''<br>1°20'31,9'' | 36°30'27,5''<br>36°30'27,4'' | 10        | 0,07      | 0,05     |
| R5      | T1       | 244<br>238 | 1°20'31,4''<br>1°20'31,8'' | 36°30'27,7''<br>36°30'27,8'' | 10        | 0,25      | 0,06     |
| R6      | T1       | 256<br>252 | 1°20'30,9''<br>1°20'31,4'' | 36°30'26,7''<br>36°30'26,8'' | 12        | 0,1       | 0,06     |

geur et la longueur dans l'érosion linéaire. Elles varient de 0,03 m au niveau de tronçon 1 de la rigole 2 à 0,2 m au niveau du tronçon 2 de la rigole 2. La deuxième dimension qui se positionne après la profondeur, la largeur qui enregistre des variations allant de 0,07 m au niveau du tronçon 1 de la rigole 4 à 0,25 m au niveau du tronçon 3 et tronçon 4 de la rigole 2 et tronçon 1 de la rigole 5 (Tableau 2). Ces valeurs montrent que les rigoles dans les versants présentent différentes dimensions et peuvent évoluer à un stade plus avancé (ravine par exemple). Ces variations sont le résultat de la combinaison de différents processus incluant l'érosion de haut de la ravine, l'effondrement des cotés latéraux, le creusement en tunnel, comme il est indiqué dans les précédentes études (Knapen et al. 2007 ; Wirtz et al. 2012 ). En absence de mesure de protection, ces différents processus deviennent plus sérieux et engendrent une perte considérable du sol.

En effet, la représentation graphique des différentes sections transversales sur la base des di-

mensions des rigoles (la largeur, la profondeur et la longueur) a permis la détermination des valeurs des sections transversales des rigoles et par suite, la détermination du volume et l'estimation de la quantité du sol détaché.

Les sections et les volumes sont un peu plus élevés dans la zone inférieure de la parcelle (rigole 4 et 5). Les sections varient de 0,0013 m<sup>2</sup> la rigole 4 à 0,005 m<sup>2</sup> la rigole 5 contre 0,0014 m<sup>2</sup> tronçon 1 de la rigole 1 à 0,0002 m<sup>2</sup> tronçon 4 de la rigole 2 . De même , les volumes varient de 0,013 m<sup>3</sup> rigole 4 à 0,05 m<sup>3</sup> rigole 5 contre 0,0028 m<sup>3</sup> tronçon 1 de la rigole 1 et 0,0009 m<sup>3</sup> tronçon 2 de la rigole 2. L'augmentation des sections et des volumes des rigoles au niveau de la zone inférieure de la parcelle est probablement liée à l'augmentation des facteurs de processus de l'érosion linéaire. En effet, dans les parcelles en pente, la vitesse du ruissellement augmente avec l'augmentation de la quantité du ruissellent et les sections des rigoles. Cette augmentation engendre le détachement du sol et l'accroisse-

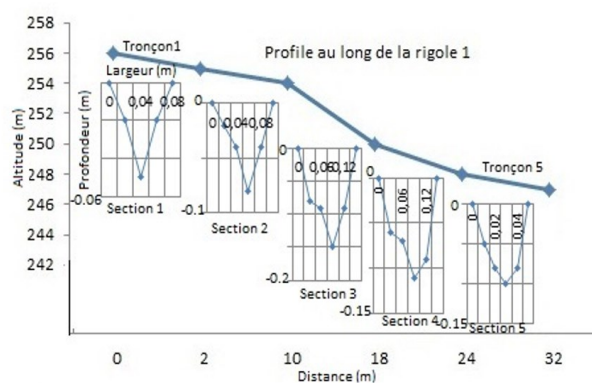


**Figure 5.** Représentation des sections moyennes de la rigole 1 et 2.

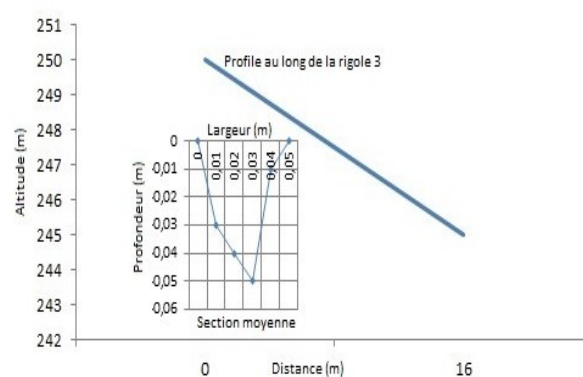
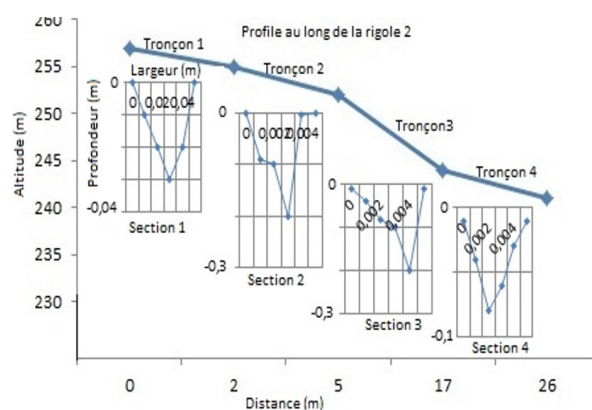


**Figure 6.** Représentation des sections moyennes de la rigole 3 et 4.

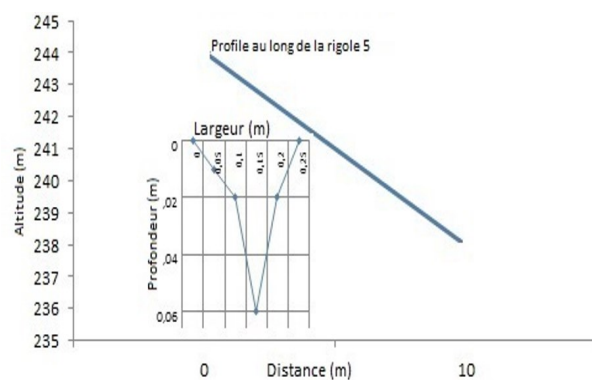
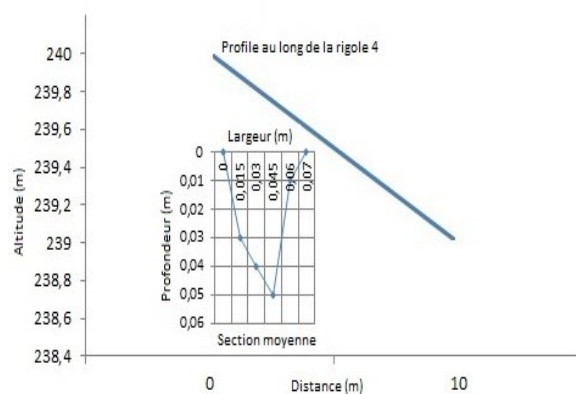


**Figure 7.** Représentation de la section moyenne de la rigole 5 et 6.

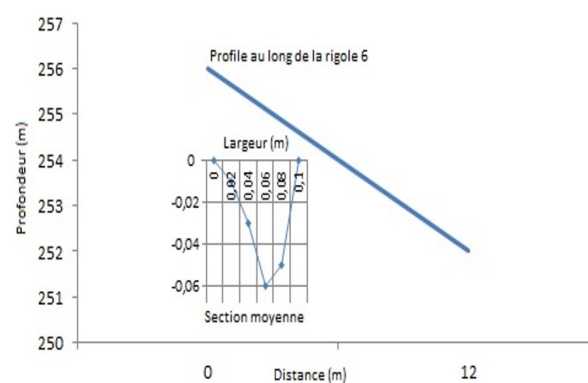


**Tableau 4.** Sections moyennes et volume des différentes rigoles

| Rigoles   | Tronçons    | Longueurs(m) | Section moyenne (m <sup>2</sup> ) | Volumes (m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------|--------------|-----------------------------------|---------------------------|
| <b>R1</b> | <b>TR 1</b> | 2            | 0,0014                            | 0,0028                    |
|           | <b>TR 2</b> | 8            | 0,0023                            | 0,0184                    |
|           | <b>TR 3</b> | 8            | 0,007                             | 0,056                     |
|           | <b>TR 4</b> | 6            | 0,0062                            | 0,0372                    |
|           | <b>TR 5</b> | 8            | 0,002                             | 0,016                     |
| <b>R2</b> | <b>TR 1</b> | 2            | 0,0005                            | 0,001                     |
|           | <b>TR 2</b> | 3            | 0,0003                            | 0,0009                    |
|           | <b>TR 3</b> | 12           | 0,0003                            | 0,0036                    |
|           | <b>TR 4</b> | 9            | 0,0002                            | 0,0018                    |
| <b>R3</b> | <b>TR1</b>  | 16           | 0,0010                            | 0,016                     |
| <b>R4</b> | <b>TR1</b>  | 10           | 0,0013                            | 0,013                     |
| <b>R5</b> | <b>TR1</b>  | 10           | 0,005                             | 0,05                      |
| <b>R6</b> | <b>TR1</b>  | 12           | 0,0023                            | 0,028                     |

ment des figures de l'érosion comme il est signalé par [Line et meyer \(1988\)](#).

## 5. Conclusion

Cette étude a permis de tester une approche simple basée sur des mesures de terrain et l'utilisation du logiciel Excel dans le suivi de l'érosion linéaire.

L'approche pourrait suivre l'érosion en fonction de la variation des dimensions des différentes figures de l'érosion linéaire (la longueur, la section et le volume).

L'application de cette nouvelle approche a permis d'avoir des données importantes sur l'érosion linéaire qui seraient utiles dans le suivi de ce type d'érosion dans les parcelles de culture, les zones forestières et les zones de parcours. Ces données pourraient être utiles dans le suivi, le contrôle de l'érosion linéaire, l'évaluation des mesures de conservation du sol, la gestion de l'eau et la protection des sols.

## Références

- Angulo-Martínez, M., Beguería, S., Navas, A., & Machín, J. (2012). Splash erosion under natural rainfall on three soil types in NE Spain. *Geomorphology*, 175, 38–44.
- Fiorucci, F., Ardizzone, F., Rossi, M., & Torri, D. (2015). The use of stereoscopic satellite images to map rills and ephemeral gullies. *Remote Sensing*, 7, 14151–14178.
- Geng, R., Zhang, M. G., & Wary, L. (2017). Soil resistance to runoff on steep cropland in Eastern China. *Catena*, 152, 18–28.
- Govers, G., Jiménez, R., & Van Oost, K. (2008). Rill erosion: Exploring the relationship between experiments, modeling and field observations. *Earth-Science Reviews*, 84(3–4), 87–102.
- Gressesse, G. D., Fush, H., Mansberger, R., Kike, A., & Reike-Za, D. (2010). Assessment of erosion, deposition and rill development on irregular soil surface using close-range digital photogrammetry. *The Photogrammetric Record*, 15(131), 299–318.
- Hao, H., Di, H., Jiao, X., Wang, J., Guo, Z., & Shi, Z. (2020). Fine root benefit soil physical properties: Key to mitigate soil detachment capacity following restoration of eroded land. *Plant and Soil*, 446, 487–501.
- Kimaro, D. N., Poesen, J., Msanya, B. M., & Deckers, J. (2008). Magnitude of soil erosion on the northern slope of the Uluguru Mountains, Tanzania: Interrill and rill erosion. *Catena*, 75, 38–44.
- Knapen, A., Poesen, G., Govers, G., Gysels, G., & Nachtergaele, J. (2007). Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 80(1–2), 75–109.
- Line, D. E., & Meyer, L. D. (1988). Flow velocity of concentrated runoff along cropland furrows. *Transactions of the ASAE*, 31(5), 1435–1439.
- Malinowski, R., Heckrath, G., Rybicki, M., & Eltner, A. (2023). Mapping rill soil erosion in agricultural fields with UAV-borne remote sensing data. *Earth Surface Processes and Landforms*, 48(3), 596–612.
- Pothier, C., Andreoli, R., Méger, N., & Rigotti, C. (2016). Suivi de l'érosion par imagerie satellite et fouille de données spatio-temporelles. In *Journées nationales de géotechnique et de géologie de l'ingénieur*, Nancy.

- Vrieling, A., Steven, M., Geert, S., & Rodrigues, C. (2008). Timing of erosion and satellite data: A multi-seasonal approach to soil erosion risk mapping. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 10(3), 267–281.
- Wang, J., Feng, S., Ni, S., Wen, H., Cai, C., & Guo, Z. (2019). Soil detachment by overland flow on hillslope with permanent gully in granite area of southeast China. *Catena*, 183–193.
- Wirtz, S., Seeger, M., & Ries, J. (2012). Field experiments for understanding and quantification of rill erosion processes. *Catena*, 91, 21–34.
- Zhang, P., Yao, W., Tang, H., Wei, G., & Wang, L. (2017). Laboratory investigations of rill dynamics on soils of the Loess Plateau of China. *Geomorphology*, 293, 201–210.
- Zhang, Q., Wang, Z., Wang, X., Luo, H., & Zhang, J. (2024). Relationship among runoff, soil erosion, and rill morphology on slopes of overburdened stockpiles under simulated rainfall. *Journal of Hydrology*, 633, 130991.
- Zhang, G., Liu, G., Tang, K., & Zhang, X. (2008). Flow detachment of soils under different land uses in the Loess Plateau of China. *Transactions of the ASABE*, 51 (3), 883–890.