

Article de recherche

Reçu: 21 Novembre 2023 / Accepté: 20 avril 2024

Mesure du ruissellement et de l'érosion sur des parcelles de 1 m² sous pluies naturelles dans les zones de montagne d'Algérie

M. Meghraoui*, B. Morsli., M. Regagba., A. H. Seladji

Institut National de Recherche Forestière (INRF), INRF, BP88, Mansourah, Tlemcen.

* Auteur correspondant : meghraoui_forestier@yahoo.fr

ملخص

تواجه الدراسات حول الانجراف في المناطق الجبلية تحديات رئيسية بسبب التباين المكاني والزمني الكبير، نظرًا لنقص الأحداث المطرية التي تسمح بتوصيف دقيق للانجراف. ومع ذلك، تم اعتماد نهج يستند إلى كمية وتوصيف الانجراف باستخدام قطع أراضي بمساحة 1 متر مربع على مدار عام من هطول استثنائي للأمطار. يهدف هذا الأسلوب إلى قياس تدفق المياه الجارية لمختلف أنواع التربة، مع مراعاة العوامل المختلفة التي تؤثر على الانجراف، وفهم سلوك التربة في مواجهة هذه الظاهرة في جبال سبيع شيوخ في شمال غرب الجزائر. يُلاحظ أن التربة البنية الطينية تظهر مقاومة أعلى، مع فقدان سنوي يتراوح بين 0,282 إلى 0,297 كجم / متر مربع، بينما تسجل التربة الحمراء فقدانًا سنويًا يتراوح بين 0,472 إلى 0,493 كجم / متر مربع، وتسجل التربة الحجرية البنية فقدانًا سنويًا يبلغ 0,018 كجم / متر مربع. تأثير الميل هو ملحوظ، حيث يزداد فقدان التربة من 0,0001 إلى 0,0007 كجم / متر مربع لكل حدث مطري عندما يزداد الميل من 12,5 إلى 20٪. بدء تدفق المياه الجارية يرتبط بشكل أساسي بكثافة الهطول المطري وحالة التربة.

كلمات رئيسية: الانجراف التربة، الأمطار الطبيعية، قطع تجريبية 1 متر مربع، الجبال الجزائرية.

Abstract

Studies on erosion in mountainous areas face major challenges due to significant spatial and temporal variability, given the lack of rainfall events allowing for precise characterization of erosion. With this in mind, an approach based on quantifying and characterizing erosion using 1m² plots over a year of exceptional rainfall has been adopted. This method aims to measure runoff from various soil types, taking into account the different factors influencing erosion, and to understand soil behavior in the face of this phenomenon in the Sabaa Chioukh Mountains in Northwest Algeria. It is observed that vertical brown limestone soils exhibit higher resistance, with an annual loss ranging from 0.282 to 0.297 kg/m², while red soils record an annual loss ranging from 0.472 to 0.493 kg/m², and brown limestone soils have an annual loss of 0.018 kg/m². The impact of slope is significant, with soil loss increasing from 0.0001 to 0.0007 kg/m² per rainfall event when the slope increases from 12.5 to 20%. Runoff initiation is mainly linked to rainfall intensity and soil condition.

Key words: Runoff, soil loss, natural rainfall, 1m² plots, Algerian mountain.

Résumé

Les études sur l'érosion dans les zones montagneuses se heurtent à des défis majeurs en raison d'une variabilité spatiale et temporelle importante, étant donné le manque d'événements pluvieux permettant une caractérisation précise de l'érosion. Dans cette optique, une approche basée sur la quantification et la caractérisation de l'érosion à l'aide de parcelles de 1m² sur une année de pluies exceptionnelles a été adoptée. Cette méthode vise à mesurer le ruissellement de divers types de sols en tenant compte des différents facteurs influençant l'érosion, ainsi qu'à comprendre le comportement du sol face à ce phénomène dans les montagnes de Sabaa Chioukh, dans le Nord-Ouest Algérien. Il est observé que les sols bruns calcaires verticaux présentent une résistance plus élevée, avec une perte annuelle de 0,282 à 0,297 kg/m², tandis que les sols rouges enregistrent une perte annuelle allant de 0,472 à 0,493 kg/m², et les sols calcaires bruns ont une perte annuelle de 0,018 kg/m². L'impact de la pente est significatif, avec une augmentation de la perte de sol de 0,0001 à 0,0007 kg/m² par événement pluvieux lorsque la pente passe de 12,5 à 20 %. Le déclenchement du ruissellement est principalement lié à l'intensité de la pluie et à l'état du sol.

Mots clés : Ruissellement, perte de sol, pluies naturelles, parcelles de 1m², montagne Algérienne.

1. Introduction

Depuis longtemps, des chercheurs du monde entier se sont intéressés aux conséquences de l'érosion des sols, un phénomène naturel aux répercussions dommageables tant pour l'agriculture que pour l'environnement. La dégradation des sols est devenue l'un des problèmes socio-économiques et environnementaux les plus cruciaux (Yadav et al. 2021 ; Jing et al. 2022). La région méditerranéenne est réputée pour ses risques d'érosion élevés (Hudson, 1992), tandis qu'au Maghreb, le potentiel en eau et en sol est sérieusement menacé (Heush, 1970 ; Demmak, 1982 ; Laouina et al. 1992 ; Meddi, 1992 ; Roose, 1994 ; Morsli, 1996 ; Touaibia et al. 2000 ; Mazour et Roose, 2002 ; Arabi et Roose, 2004), sachant que les plans de conservation des sols sont coûteux et prennent beaucoup de temps lorsqu'ils sont appliqués à une vaste zone (Sahour et al. 2021).

Les pays du Maghreb renforcent leur capacité de stockage des eaux de surface. Le Maroc dispose actuellement de 144 barrages, un nombre que l'Algérie prévoit d'atteindre d'ici 2030. La Tunisie compte 34 unités, tandis que la Libye en dénombre 16 (Chibani, 2020), avec une perte annuelle de 125 Mm³ (Remini, 2003). Plus de 20% des barrages algériens sont envasés (Achite et Meddi, 2005).

L'exploration de la chaîne de montagnes de Sabaa Chioukh dans le Nord-Ouest Algérien a révélé une grave dégradation des sols et des résultats peu concluants pour la plupart des aménagements. Le problème de l'érosion ne cesse de s'aggraver, suscitant l'attention des scientifiques et des planificateurs qui se posent de nombreuses questions : quels sont les facteurs et les causes de la dégradation de ces bassins versants ? Quels sont les facteurs discriminants ? Quelles sont les zones les plus sensibles en termes de sources de sédiments et de sols ? Quelle est l'ampleur de l'érosion (quantité de perte de sol) ? Pour répondre à ces interrogations, il est impératif de quantifier l'érosion pour chaque type de sol, d'analyser les facteurs conditionnels d'érosion, et d'étudier et de démontrer ce qui se produit avec le sol lors des événements de pluie. L'objectif de cette étude consiste à comparer l'érodibilité de différents types de sols à partir de mesures réalisées sur de petites parcelles sous des

précipitations naturelles.

2. Matériel et Méthodes

2.1. Zone d'étude

Les montagnes de Sabaa Chioukh font partie des chaînes intérieures telliennes, considérées comme l'extrémité ouest de la chaîne de Tessala, situées dans le nord-ouest de l'Algérie entre les coordonnées géographiques suivantes : longitude : 1° 27'1,7" et 0°58'3" ouest ; latitude : 35°3'16,8" et 35°13'44,7" nord). Cette chaîne de montagnes, couvrant une superficie de 475 km², s'étend du Djebel de Dioussiane (627 m) aux montagnes de Tessala. Le relief élevé s'étend parallèlement aux affleurements dominants des crêtes de délimitation (Thinthoin, 1960). Cet espace représente une entité géographique bien identifiée compte tenu de son terrain escarpé orienté est-ouest qui chevauche les wilayas de Tlemcen et d'AïnTémouchent (Meghraoui et al. 2017) (Figure 1).

2.2. Dispositif expérimental et paramètres mesurés

Le dispositif expérimental comprend cinq parcelles de 1 m². Pour les sols bruns calcaires vertiques, des échantillons prélevés dans l'horizon superficiel de la zone d'étude, à une profondeur de 20 cm, ont été utilisés pour permettre une restructuration progressive du sol. Pour garantir une certaine stabilité, l'expérimentation a débuté après six mois, coïncidant avec les premières pluies d'automne. En revanche, pour les sols rouges fersiallitiques et les sols bruns calcaires, des sols déjà présents sur le site d'expérimentation, restés non remaniés, ont été utilisés. Des cadres de 1 m² ont été enfoncés à une profondeur de 15 cm, avec une hauteur de bordure uniforme au-dessus du sol, isolant ainsi la parcelle de tout écoulement ou infiltration extérieure. En aval de chaque parcelle, un réservoir récepteur a été installé pour mesurer l'eau et le sol érodé (Figure 2 a, b).

Le choix d'une expérimentation sous pluies na-

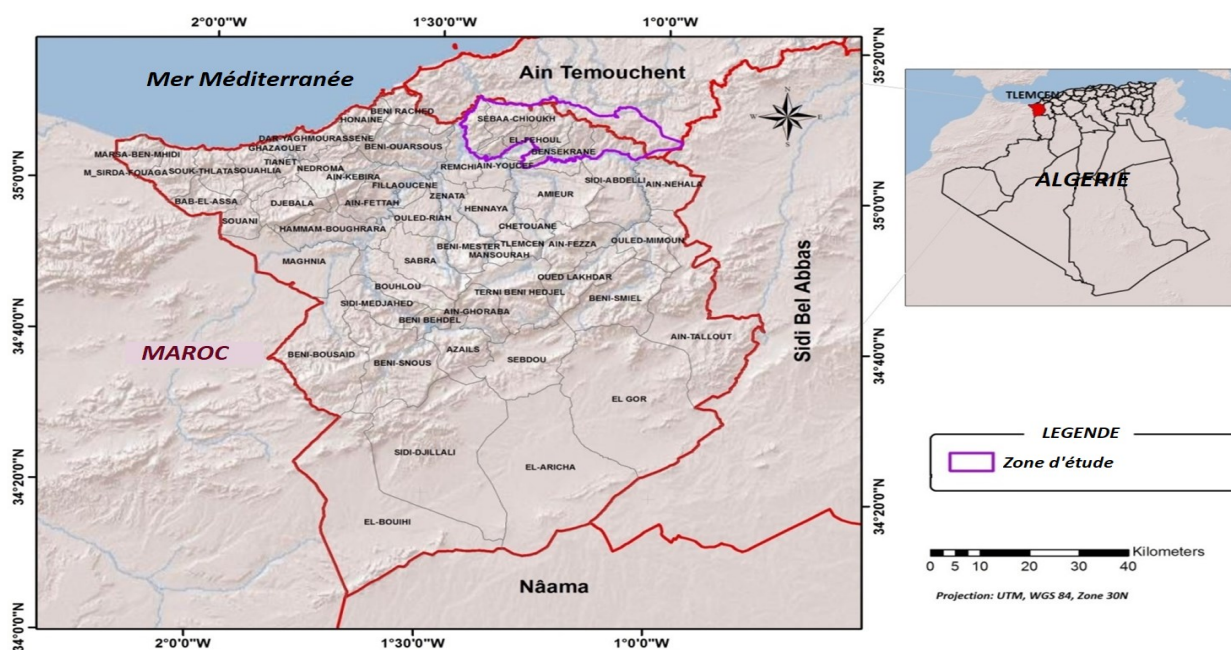


Figure 1. Situation de la zone d'étude.

turelles plutôt qu'avec des pluies simulées repose sur la volonté de reproduire des conditions réalistes et représentatives du milieu naturel. Les pluies naturelles englobent la complexité des facteurs environnementaux tels que l'intensité, la durée, la fréquence et le régime spatial des précipitations, qui sont difficiles à reproduire fidèlement avec des simulateurs.

Le travail s'est concentré sur les paramètres

présentant une variabilité et semblant avoir une grande influence sur le ruissellement et l'érosion. Le massif de Sabaa Chioukh présente une végétation relativement moins dense ou moins abondante et généralement homogène (végétation herbacée peu variable). Cette caractéristique végétale particulière n'a pas été prise en compte afin de mieux comprendre d'autres aspects ou facteurs qui pourraient avoir une influence plus significative dans

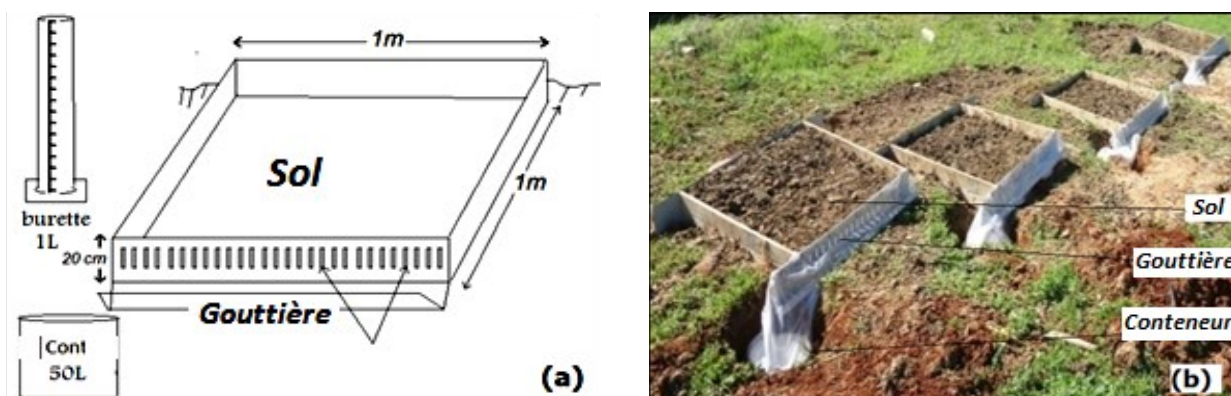


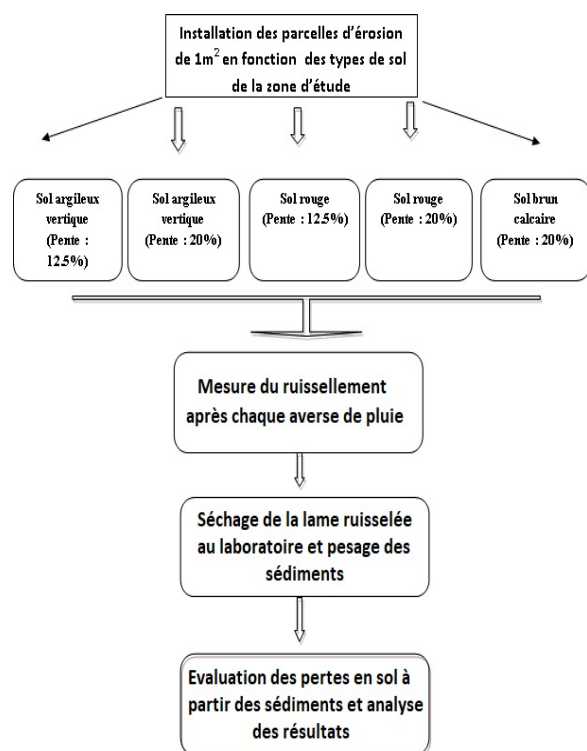
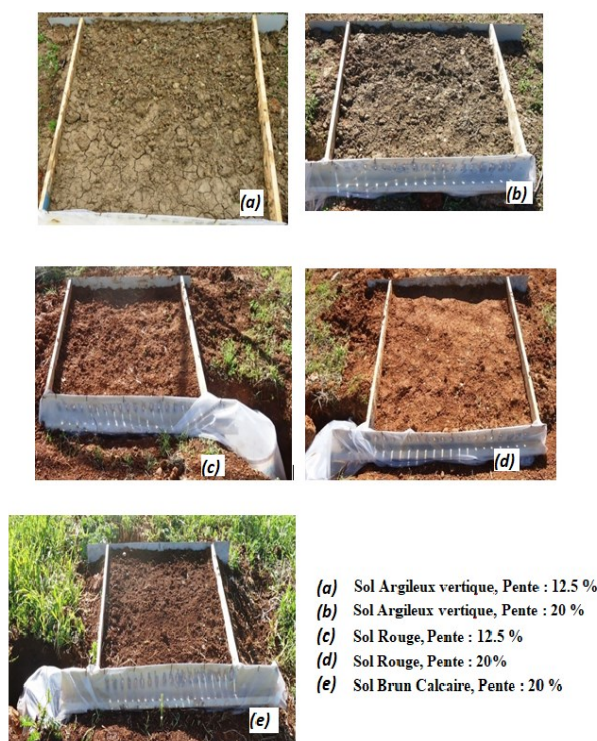
Figure 2. Dispositif expérimental : (a) Composition de la parcelle de 1m², (b) Installation des parcelles.

Tableau 1. Caractéristiques édaphiques des parcelles.

	Parcelle 1	Parcelle 2	Parcelle 3	Parcelle 4	Parcelle 5
Sol	Brun calcaire vertique	Brun calcaire vertique	Sol rouge	Sol rouge	Brun calcaire
Texture	Argileuse	Argileuse	Limono- sableuse	Limono- sableuse	Limono- argileuse
Structure	polyédrique moyenne	polyédrique moyenne	grumeleuse	grumeleuse	grumeleuse
Pierrosité	5%	5%	10%	1%	15%
Matière organiques	1,66	1,60	4,26	3,75	5,80
pH	7,81	7,70	7,6	7,7	7,9
CaCO₃	22,05	20,01	18,91	19,1	31,41

l'analyse. En faisant abstraction du couvert végétal, l'analyse a pu se concentrer sur des variables telles que la topographie, les caractéristiques pluviométriques ou d'autres facteurs pouvant jouer un rôle prépondérant dans le massif de Sabaa Chioukh. Les caractéristiques des parcelles sont mentionnées dans le [Tableau 1](#).

Pour évaluer le risque du ruissellement et d'érosion et analyser les facteurs conditionnels, plusieurs pluies sur les unités de sol existantes dans la chaîne de montagnes de Sabaa Chioukh (sols rouges, sols argileux vertiques, sols calcaires bruns) ont été analysées, ainsi que sur deux pentes différentes (12,5% et 20%) ([Figure 3](#) ; [Figure 4](#)).

**Figure 3.** Protocole Expérimental.**Figure 4.** Parcelles d'érosion installées.

Ces types de pentes sont dominants et où l'érosion est très visible.

Pour analyser les différentes pluies et leurs intensités, une station météorologique automatique a été installée près des parcelles, fournissant des

enregistrements toutes les cinq minutes. Seules les pluies ayant déclenché un ruissellement entre le 21 mars 2014 et le 20 mars 2015 ont été prises en compte (Tableau 2). Le gradient de pente est un facteur important qui affecte l'érosion du sol. Deux

Tableau 2. Précipitations enregistrées du 21 mars 2014 au 20 mars 2015.

Date	Averse (mm)	Durée (minutes)	intensité max (mm/h) pour une durée de 5 mn	intensité moy (mm/h)
26/03/2014	9,6	110	34,8	9,29
02,03/04/2014	7,8	130	39	5,29
03/04/2014	6	65	41,2	11,60
22/04/2014	3,4	55	8,6	4,73
17/05/2014	19,8	230	80,6	8,86
18/05/2014	1,8	45	5,4	2,11
20/05/2014	0,6	15	1,6	0,53
01,02/06/2014	25,8	340	61	7,64
22/09/2014	3	40	288	78,25
24/09/2014	0,8	10	10,8	5,40
27/09/2014	0,2	5	0,2	0,20
28/09/2014	7,6	55	91,4	15,09
29/09/2014	0,2	5	0,2	0,20
30/09/2014	5,6	50	43,4	15,38
30/09/2014	15	45	132,4	48,11
12/10/2014	4	65	20,4	6,72
14/10/2014	9,4	180	28,2	3,43
04/11/2014	16,6	255	17	4,84
05,06/11/2014	14	230	26,4	4,63
09/11/2014	10,6	170	10,4	4,71
15/11/2014	7,2	145	12,2	3,07
25/11/2014	8,8	105	25,4	7,15
27/11/2014	1,4	35	1,8	0,71
28/11/2014	2	50	1,6	0,78
29/11/2014	0,4	10	2	1,40
02/12/2014	28,6	260	66,6	12,76
03,04/12/2014	1	25	0,8	0,16
15,16,17/12/2014	51	900	17,2	3,84
28,29/12/2014	38,8	545	21,8	6,04
16/01/2015	1,2	30	1,4	0,50
17/01/2015	2,6	60	4,8	1,63
19,20/01/2015	39,8	745	15,6	3,33
21/01/2015	0,4	10	1	0,50
21,22,23/01/2015	32,8	550	16,4	3,71
4,5,6,7,8,9/02/2015	17,4	435	1	0,15
15/02/2015	6,6	5	164,58	164,58
15,16/02/2015	2,2	55	2,6	1,45
17/02/2015	7,4	150	11	2,81
17/02/2015	20,6	215	32	7,62
18/02/2015	5	60	56,4	12,17
20,21/02/2015	10,2	250	4	1,31
21/02/2015	0,4	10	0,8	0,40
21,22/02/2015	6,8	145	16	2,88
Cumul	415.6	6895	-	-

classes de pentes ont été choisies de l'ordre de 12,5% et 20% pour étudier l'effet du gradient de pente sur l'érosion du sol.

3. Résultats et discussion

3.1 Sol brun calcaire vertique

Les pertes de sol constatées sur les parcelles de sol brun calcaire vertique varient entre 0,0012 et 0,0162 kg/m² pour les deux pentes (12,5% et 20) (Tableau 3). Ces pertes dépendent des précipitations et de leur intensité. Elles augmentent également avec la pente, mais cette augmentation n'est pas significative lors du passage d'une pente de 12,5% à 20%. Certaines pluies causent une forte érosion malgré une faible pluviométrie. Cela s'explique par l'humidité déjà présente dans le sol. Si le sol est déjà humide en raison de pluies antérieures, il peut être plus susceptible à l'érosion lorsqu'une nouvelle pluie se produit, c'est-à-dire que les précipitations qui précèdent cet événement pluvieux agissent directement sur l'érosion (Morsli, 2015).

3.2. Sol rouge fersiallitique

Les pertes de sol relevées sur les parcelles de "sol rouge" varient de 0,0042 à 0,0258 kg/m² (Tableau 3). Elles sont plus importantes par rapport aux sols vertiques, ce qui s'explique par l'érodibilité significative des sols fersiallitiques rouges. En d'autres termes, ces sols rouges sont plus sensibles à l'érosion et perdent plus de sol sous l'influence des mêmes conditions environnementales, telles que les précipitations et la pente du terrain.

3.3. Sol brun calcaire

Les pertes de sol observées sur les parcelles de "sol brun calcaire" varient de 0,0008 à 0,0101 kg/ha/m² (Tableau 3). Ces sols sont plus ou moins résistants que les autres sols, sachant que l'on a pris en considération une seule pente de 20%, le fait que la parcelle de 12,5% a été dégradée au milieu de l'expérimentation.

La comparaison des résultats de cette étude avec ceux obtenus par d'autres auteurs permet relativement de valider les résultats de cette approche. Par exemple, Morsli et Habi (2015) ont

estimé une perte de sol moyenne de 1,5 t/ha/an pour le sol brun calcaire vertique, de 2,5 t/ha/an pour le sol rouge fersiallitique et de 2,6 t/ha/an pour le sol brun calcaire en utilisant des parcelles de 100 m² dans la montagne de Beni Chograne (Nord-Ouest de l'Algérie). L'application de RUSLE ou d'autres méthodes pour estimer la perte de sol dans la montagne de Sabaa Chioukh par Meghraoui et al. (2017) varie de 150 à 200 t/ha/an sur une superficie de 26 760 ha, soit 56,58% du territoire, en raison de l'érodibilité des sols fersiallitiques et des vertisols. Les quantités de pertes de sol sont différentes, ce qui peut s'expliquer par la différence d'échelle. À l'échelle de 1 m², la distance parcourue par le ruissellement est très courte, ce qui ne permet pas au ruissellement de se concentrer pour développer sa propre énergie.

La détermination du coefficient du ruissellement (Kr) de la pluie pour les différentes mesures se fait selon l'équation 1.

$$Kr = (VER/P SP) 100 \quad (1)$$

Où VER est le volume d'eau ruisselé (litres), P la pluie (mm) et SP la surface de la parcelle (1 m²).

Il est observé que les sols bruns calcaires vertiques présentent une résistance plus élevée, avec une perte annuelle de 0,282 à 0,297 kg/m², équivalant à 2,823 à 2,977 t/ha/an, tandis que les sols rouges enregistrent une perte annuelle variant de 0,472 à 0,493 kg/m², équivalant à 4,721 à 4,932 t/ha/an, et les sols bruns calcaires ont une perte annuelle de 0,0183 kg/m², équivalant à 3,183 t/ha/an (Figure 5). On peut dire que plus le sol est riche en argile, en matière organique et en calcaire, plus il est résistant. Selon le travail de (Morsli, 1996), plus le sol est riche en sable fin, limon, en sodium échangeable et faible en matière organique, plus il est sensible, les sols de type sableux-limoneux à forte teneur en limon, en sable fin et avec peu de matière organique dans l'horizon de surface semblent les plus sensibles (Roose, 1994).

Le facteur de pente n'est pas négligeable, passant de 12,5 à 20%, la charge solide augmente de 0,0001 à 0,0007 kg/m² par événement de pluie. L'effet de l'intensité de la pluie a également un impact sur le ruissellement et l'érosion. Le déclenchement du ruissellement est plus rapide lorsque les précipitations augmentent, surtout lorsque le sol est humide. L'humidité antérieure du sol (l'effet des

Tableau 3. Quantification de l'érosion dans les parcelles de 1m².

P(mm)	Pente (%)	Intensité (mm/h)	Sol brun calcaire vertique		Sol fersiallitiques		Sol brun calcaire	
			Kr (%)	Erosion (kg/m ²)	Kr (%)	Erosion (kg/m ²)	Kr (%)	Erosion (kg/m ²)
9,6	20,0	34,8	21,87	0,0092	32,50	0,0147	17,71	0,0052
	12,5		18,75	0,0087	31,46	0,014		
7,8	20,0	39,0	15,38	0,0079	21,79	0,0132	7,69	0,0087
	12,5		10,25	0,0071	19,87	0,0115		
6,0	20,0	41,2	65,00	0,0096	42,67	0,0154	35,00	0,0096
	12,5		51,66	0,0092	38,33	0,0149		
19,8	20,0	80,6	23,23	0,0112	25,76	0,0169	22,98	0,0101
	12,5		20,70	0,0109	24,75	0,016		
25,8	20,0	61,0	24,03	0,0103	29,46	0,0151	24,42	0,0035
	12,5		22,86	0,0097	27,52	0,0147		
7,6	20,0	91,4	23,68	0,0074	30,26	0,0125	14,47	0,0028
	12,5		15,78	0,0071	27,63	0,0123		
5,6	20,0	43,4	25,00	0,0071	33,93	0,0112	17,86	0,0041
	12,5		19,64	0,0069	33,04	0,0107		
15,0	20,0	132,4	24,33	0,0106	23,00	0,0194	18,00	0,0023
	12,5		21,33	0,0098	20,00	0,0181		
9,4	20,0	28,2	10,10	0,0036	11,70	0,0076	6,38	0,0035
	12,5		8,51	0,0034	10,11	0,0071		
16,6	20,0	17,0	16,86	0,0041	18,67	0,0062	11,45	0,0029
	12,5		14,75	0,0038	18,07	0,006		
14,0	20,0	26,4	19,28	0,0038	22,86	0,0059	15,71	0,0019
	12,5		18,21	0,0036	21,43	0,0057		
10,6	20,0	10,4	10,37	0,0021	15,09	0,0046	7,55	0,0015
	12,5		8,96	0,0019	16,04	0,0042		
7,2	20,0	12,2	13,88	0,0018	16,67	0,0045	8,33	0,0017
	12,5		13,19	0,0017	15,28	0,0044		
8,8	20,0	25,4	13,63	0,002	18,18	0,005	7,95	0,0028
	12,5		11,36	0,0019	16,48	0,0047		
28,6	20,0	66,6	14,33	0,0109	18,18	0,0158	12,24	0,0082
	12,5		13,81	0,0107	17,48	0,0154		
51,0	20,0	17,2	15,49	0,0162	18,43	0,0243	16,86	0,0069
	12,5		14,70	0,0159	17,84	0,0242		
38,8	20,0	21,8	17,52	0,0142	17,78	0,0212	13,92	0,007
	12,5		15,72	0,0139	17,53	0,0207		
39,8	20,0	15,6	16,33	0,0145	16,83	0,0219	12,81	0,0081
	12,5		15,82	0,0141	16,33	0,0211		
32,8	20,0	16,4	25,00	0,0143	24,70	0,0258	22,26	0,0009
	12,5		24,08	0,0142	24,39	0,0254		
17,4	20,0	1,0	14,94	0,0029	17,82	0,0059	10,34	0,0021
	12,5		13,79	0,0027	17,24	0,0057		
6,6	20,0	164,5	59,09	0,0031	71,21	0,0142	48,48	0,0009
	12,5		54,54	0,0029	68,18	0,0141		
2,2	20,0	2,6	45,45	0,0014	54,55	0,0045	27,27	0,0015
	12,5		40,90	0,0012	50,00	0,0042		
7,4	20,0	11,0	40,54	0,0037	50,00	0,0118	39,19	0,0012
	12,5		39,18	0,0035	47,30	0,0116		
20,6	20,0	32,0	44,17	0,0141	46,60	0,0214	33,50	0,0012
	12,5		43,20	0,0137	43,69	0,0209		
5,0	20,0	56,4	58,00	0,0036	56,00	0,0096	46,00	0,001
	12,5		50,00	0,0034	54,00	0,0095		
10,2	20,0	4,0	38,23	0,0031	39,22	0,0125	27,45	0,0008
	12,5		36,27	0,0029	38,24	0,0121		
6,8	20,0	16,0	45,58	0,0029	51,47	0,0114	38,24	0,0028
	12,5		44,11	0,0028	54,41	0,0112		

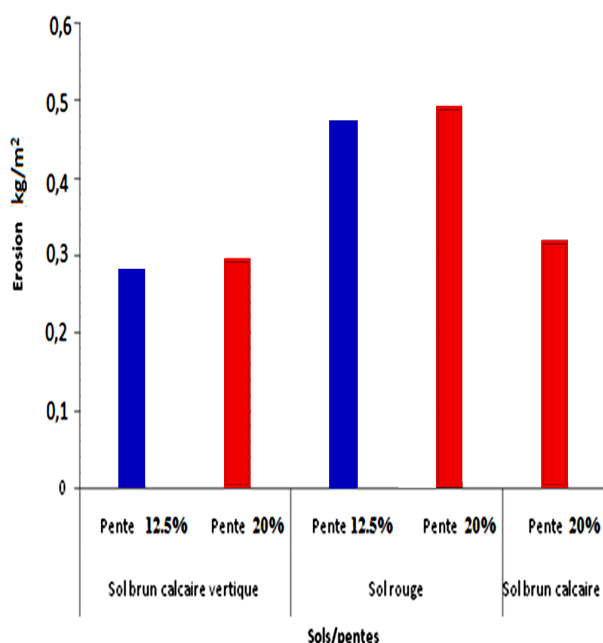


Figure 5. Les pertes en sol annuelles « sol BC vertique, sol rouge et brun calcaire ».

pluies passées) favorise le ruissellement, qui peut être déclenché même par de faibles précipitations (Chunfeng et al. 2020).

3.4. Variations saisonnières de l'érosion du sol sur les parcelles de 1 m²

La pluviométrie est très importante en hiver mais les pertes en sol sont constatées en automne, cela est justifié par l'agressivité des pluies lors de cette saison. Des pluies intenses ont été enregistrées au cours du mois de septembre ($I = 160,3$ mm/h). Ces pluies intenses d'automne, tombant sur des sols presque nus, sont agressives, elles favorisent l'érosion des sols avec un appauvrissement en surface d'éléments fins et surtout dans les sols rouges où l'érosion a atteint $0,2015$ kg/m² en automne (Tableau 4), (Figure 6).

En comparant les résultats avec ceux obtenus par (Artemi, 2002) dans l'Est de l'Espagne, les différences saisonnières dans l'érosion sont moins claires en raison de l'augmentation de la concentra-

Tableau 4. Variations saisonnières de terres érodées.

Saisons	Sols	Pente %	Erosion (kg/m ²)	Pluviométrie (mm)
Printemps (21/03/2014 au 20/06/2014)	Sol brun calcaire vertique	12,5	0,0756	74,8
		20	0,0799	
	Sol rouge	12,5	0,1205	
		20	0,1268	
	Sol brun calcaire	20	0,0088	
Été (21/06/2014 au 20/09/2014)	Sol brun calcaire vertique	12,5	-	0
		20	-	
	Sol rouge	12,5	-	
		20	-	
	Sol brun calcaire	20	-	
Automne (21/09/2014 au 20/12/2014)	Sol brun calcaire vertique	12,5	0,1189	187,4
		20	0,1258	
	Sol rouge	12,5	0,1926	
		20	0,2015	
	Sol brun calcaire	20	0,0142	
Hiver (21/12/2014 au 20/03/2015)	Sol brun calcaire vertique	12,5	0,0877	153,4
		20	0,0919	
	Sol rouge	12,5	0,1589	
		20	0,1648	
	Sol brun calcaire	20	0,0084	

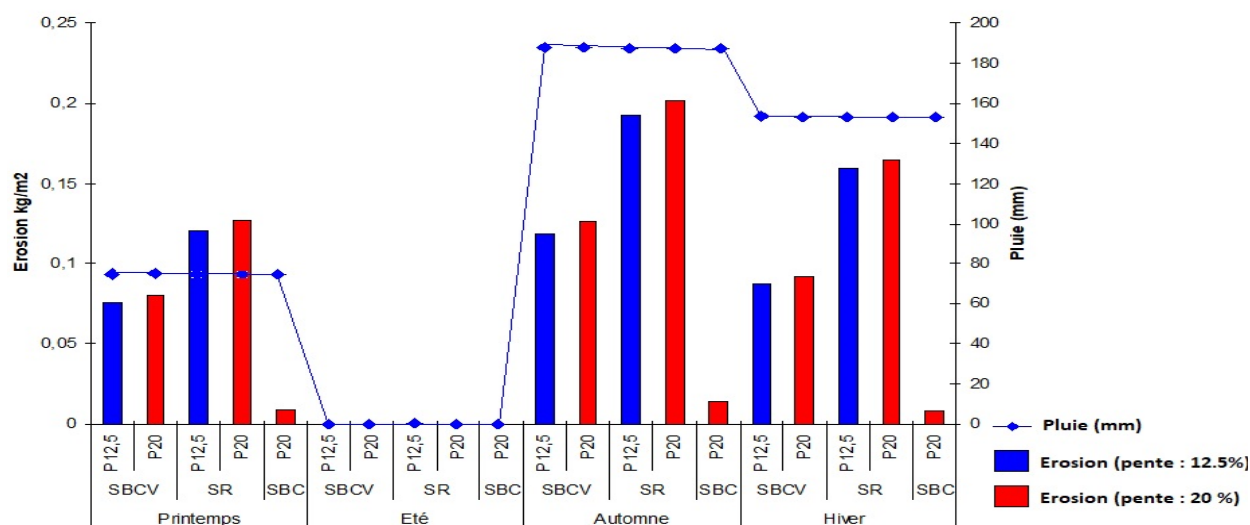


Figure 6. Variations saisonnières de terres érodées (SBCV : Sol brun calcaire vertique, SR : Sol rouge, SBC : Sol brun calcaire).

tion des sédiments de ruissellement pendant l'été, bien que les taux d'érosion les plus élevés aient été observés en automne. Les sols argileux présentent les plus grandes différences saisonnières (Kr passe de 27% à 51%). [Ferreira et Panagopoulos \(2014\)](#) a également estimé l'érosion dans le bassin versant du barrage d'Alqueva en Europe occidentale en utilisant l'approche de l'équation universelle révisée de perte de sol (RUSLE). La saison d'automne a montré la prévision d'érosion la plus élevée (9,9 t/ha), contribuant à 65% de l'érosion annuelle totale. [Kerdoud \(2021\)](#) a également enregistré, dans le bassin de l'Oued El Hai de l'Est Algérien, que les pics sont plutôt automnaux. L'apport spécifique moyen de solides est de 110 t/km²/an (1970/1992).

3.5. Recherche des paramètres explicatifs de la variation de l'érosion

Le suivi de l'évolution de l'érosion au cours de l'année montre qu'il existe des relations entre les facteurs. Pour spécifier la relation qui existe entre ces facteurs, un traitement de données a été effectué. Ce traitement consiste à chercher le modèle régressif le plus significatif entre la hauteur des pluies et l'érosion. Plusieurs modèles mathématiques ont été testés. Le modèle linéaire semble mieux ajuster les données. La [Figure 7](#) et le [Tableau 5](#) montrent

les relations trouvées avec leurs coefficients de corrélation.

En ce qui concerne la relation entre la hauteur des pluies et l'érosion, les pluviométries expliquent 41,61 à 41,87% de la variation de l'érosion pour les sols bruns calcaires vertiques sur des pentes de 12,5 et 20%, les pluies pour les sols rouges expliquent 37,62% de la variation d'érosion pour la pente 12,5% et 36,94% pour la pente 20% et les hauteurs de pluies expliquent 27,10% de la variation de l'érosion pour le sol brun calcaire.

Les relations entre l'érosion et les indices de pluies antérieures ont également été étudiées par la méthode des régressions simples.

En effet cette méthode numérique permet, par des tests statistiques appropriés en association à une visualisation graphique des résultats, de cerner au mieux l'indice IAP comment il explique le ruissellement et l'érosion. Les régressions obtenues sont réunies dans le [Tableau 6](#).

Pour le calcul de l'indice des précipitations antérieures, IPA, la formule de [Kohler & Linsley \(1951\)](#) a été adoptée, la plus souvent utilisée :

$$IPA_i = (IPA_{i-1} + P_{i-1}) e^{-\alpha t} \quad (2)$$

Où IPA_i , P_{i-1} , IPA_{i-1} , t et α sont, respectivement, l'indice des précipitations antérieures au jour i , la hauteur de la pluie précédente et l'indice des préci-

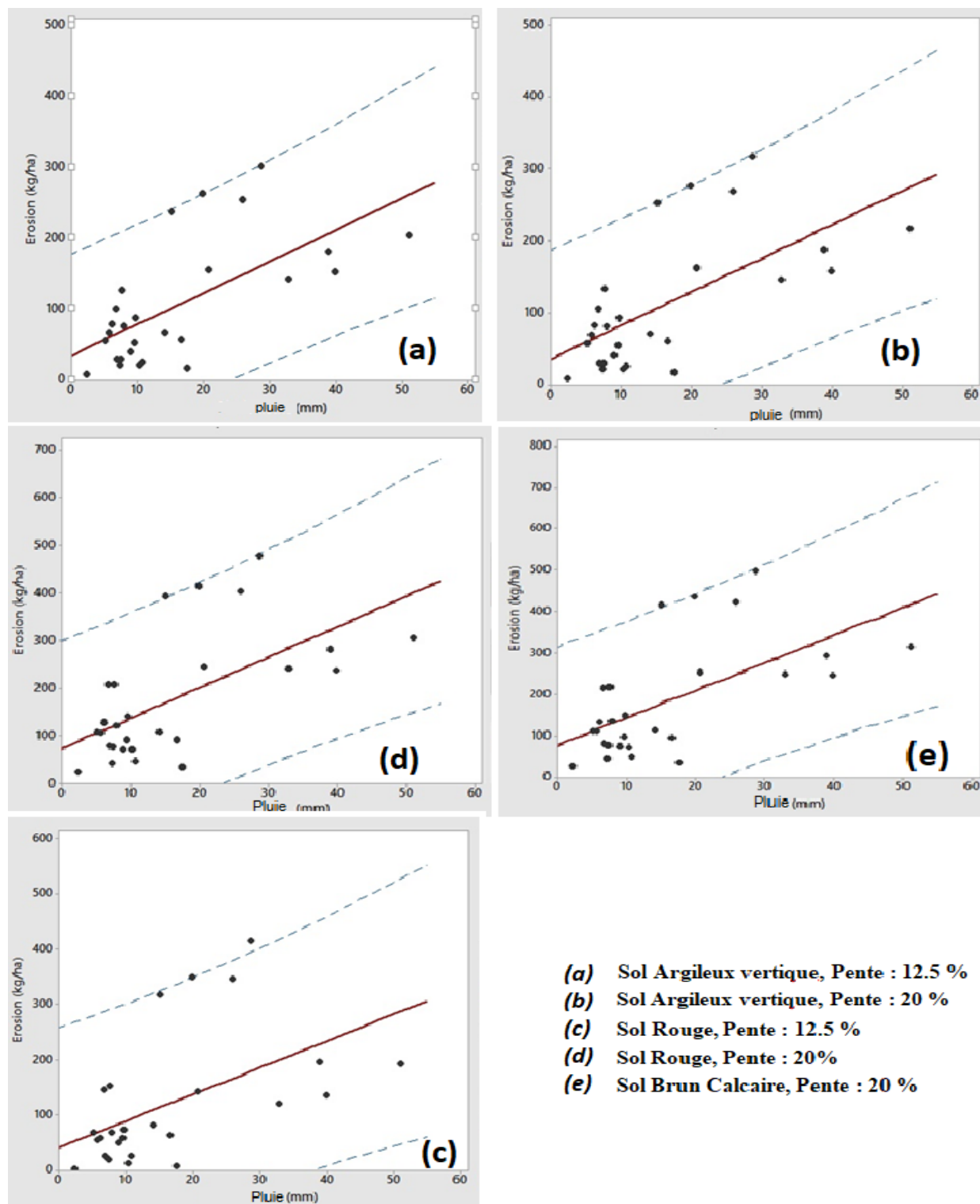


Figure 7 . Relation entre l'érosion et la hauteur des pluies.

Tableau 5. Expressions obtenues sur les différents types de sol.

Type de sol	Pente %	Expression	R^2 %	r	Coefficient p
Sol brun calcaire	12,5	Er = 4,446 Pluie + 33,61	41,87	0,65	P < 0,001
	20	Er = 4,666 Pluie + 35,78	41,61	0,65	p < 0,001
Sol rouge	12,5	Er = 6,420 Pluie + 72,39	37,62	0,61	p < 0,001
	20	Er = 6,654 Pluie + 76,48	36,94	0,61	p < 0,001
Sol brun calcaire	20	Er = 4,816 Pluie + 41,03	27,10	0,52	p = 0,05

Er : Erosion ; R^2 : coefficient de détermination (% de variation) ; r : coefficient de corrélation ; p : relation entre X et Y

précipitations antérieures lors de la précédente pluie (mm), l'intervalle de temps entre i et $i-1$ (jours).

En prenant les différentes valeurs proposées de valeur de départ de l'indice des précipitations antérieures, on peut calculer pour chaque jour l'IPA selon l'équation.

Les régressions obtenues montrent que l'indice de pluie antérieure explique 28,91 à 30,27% de la variation de l'érosion pour le sol brun calcaire vertique et de 32,18 à 33,96 pour les sols rouges et de 31,24 pour le sol brun calcaire.

On peut dire que lorsque le sol est humide, le risque d'érosion est élevé. Les précipitations antérieures (IAP) ont une influence sur l'érosion.

4. Conclusion

Cette étude fournit des informations importantes sur l'infiltration des eaux, le ruissellement et la mise en mouvement des particules en fonction des sols et des pentes considérées, qui sont des facteurs clés de l'érosion. Les résultats indiquent que les sols bruns calcaires et bruns calcaires vertiques sont plus résistants à l'érosion que les sols rouges.

Le facteur de pente joue un rôle significatif, avec une augmentation de la charge solide lorsque la pente passe de 12,5 à 20%. De plus, l'intensité de la pluie a un grand impact sur le ruissellement et la détachabilité et par conséquent sur l'érosion. Le déclenchement du ruissellement et la détachabilité devient de plus en plus rapide et plus intense lorsque l'intensité de pluie augmente. Lorsque le sol est humide et surtout quand l'état de surface est dégradé sous l'effet des gouttes de pluie (dégradation de structure, colmatage des pores...), l'infiltration diminue et le risque de ruissellement augmente.

L'analyse saisonnière met en évidence que bien que la pluviométrie soit élevée en hiver, l'importance des pertes en sol sont constatées en automne en raison de l'agressivité des pluies à cette période. Des pluies intenses enregistrées en septembre ont favorisé une érosion importante, entraînant un appauvrissement en éléments fins, notamment dans les sols rouges.

Il convient toutefois de noter que l'échelle spatiale limitée des parcelles d'érosion de 1m² peut restreindre la généralisation des résultats à des échelles plus vastes, telles que des versants ou des bassins versants. Les processus d'érosion peuvent

Tableau 6. Expressions obtenues sur les différents types de sol.

Type de sol	Pente %	Expression	R^2	r	Coefficient p
Sol brun calcaire vertique	12,5	Er = 1,662 IAP + 33,84	30,27	0,55	p = 0,003
	20	Er = 1,651 IAP + 37,04	28,91	0,54	p = 0,004
Sol rouge	12,5	Er = 2,364 IAP + 75,38	33,96	0,58	p = 0,001
	20	Er = 2,340 IAP + 80,37	32,18	0,57	p = 0,002
Sol brun calcaire	20	Er = 0,6118 IAP + 26,7	31,24	0,55	p = 0,005

IAP : indice de pluie antérieure, *Er* : Erosion ; R^2 : coefficient de détermination (% de variation) ; r : coefficient de corrélation ; p : relation entre X et Y

varier à des échelles plus grandes en raison de la complexité des interactions environnementales. Malgré cette limitation, cette étude a contribué de manière significative à la compréhension du comportement du sol vis-à-vis des pluies et des facteurs d'érosion et souligne l'importance de prendre en compte les caractéristiques des sols, la pente et les conditions climatiques dans la gestion et la conservation des sols afin de réduire les risques de ruissellement et d'érosion. Des recherches complémentaires à des échelles spatiales plus vastes pourraient permettre d'approfondir ces connaissances et de mieux évaluer l'impact de l'érosion à grande échelle.

Références

- Achite, M., & Meddi, M. (2005). Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi-aride. Cas du bassin versant de l'oued Mina (nord-ouest algérien). *Journal of Water Science*, (18), 37-56. <https://doi.org/10.7202/705575ar>
- Arabi, M., & Roose, E. (2004). Influence du système de production et du sol sur l'érosion en nappe, le ruissellement, le stock du sol et les pertes de carbone par érosion en zone de montagne méditerranéenne (Médéa, Algérie). *Bulletin Du RESEAU EROSION*, (22), 166-175.
- Artemi, C. (2002). The effect of season and parent material on water erosion on highly eroded soils in eastern Spain. *Journal of Arid Environments*, 52(3), 319-337.
- Chibani, A. (2020). Le manque d'eau menace le Maghreb. *Orient XXI Magazine*, (12).
- Chunfeng, J., Baoping, S., Xinxiao, Y., & Xiaohui, Y. (2020). Analysis of Runoff and Sediment Losses from a Sloped Roadbed under Variable Rainfall Intensities and Vegetation Conditions. *Sustainability*, 12(2077), 1-11. <https://doi.org/10.3390/su12052077>
- Demmak, A. (1982). Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie (Thèse de Doctorat). Paris VI, France.
- Ferreira, V., & Panagopoulos, T. (2014). Seasonality of Soil Erosion Under Mediterranean Conditions at the Alqueva Dam Watershed. *Environmental Management*, (54), 67-83. <https://doi.org/10.1007/s00267-014-0281-3>
- Heusch, B. (1970). L'érosion du pré rif occidental : une étude quantitative de l'érosion hydrique. *Annales De La Recherche forestière Du Maroc*, (12), 9-176.
- Hudson, N. (1992). *Land husbandry*. London: Bastford.
- Jing, W., Pingda, L., Irene, P., Babu, B., Xu, S., Li, S., ... Mengyun, D. (2022). Analysis of soil erosion characteristics in small watershed of the loess tableland Plateau of China. *Ecological Indicators*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108765>
- Kerdoud, S. (2022). Les ressources en eau, l'érosion hydrique et l'envasement des barrages dans l'Est Algérien (Thèse de Doctorat, Université des Frères Mentouri). Retrieved from <http://depot.umc.edu.dz/handle/123456789/13513>
- Laouina, A. (1992). Recherches actuelles sur l'érosion au Maroc. *Bulletin Du Réseau Érosion*, 12, 292-299.
- Linsley, R., & Kohler, M. (1951). Predicting the Runoff from storm Rainfall. *American Geophysical Union*, (34), 1-10. <https://doi.org/10.1029/TR032i002p00245>
- Mazour, M., & Roose, E. (2002). Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur des parcelles d'érosion des bassins versants du Nord-Ouest de l'Algérie. *Bulletin Du Réseau Érosion*, 12, 320-330. Sahour H, Gholami V, Vazifedan M, Saeedi S, 2021. Learning applications for water-induced soil erosion modeling and mapping. *Soil and Tillage Research* 211,105032.<https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105032>
- Meddi, M. (1992). Hydro pluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'Oued Mina Algérie (Thèse de Doctorat). Univ Louis pasteur, Strasbourg France.
- Meghraoui, M., Habi, M., Morsli, B., Regagba, M., & Seladji, A. (2017). Mapping of soil erodibility and assessment of soil losses using the RUSLE model in the Sebba-Chioukh Mountains (northwest of Algeria). *Journal of Water and Land Development*, (34), 205-213. <https://doi.org/10.1515/jwld-2017-0055>
- Morsli, B. (1996). Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne - cas des Monts de Béni chougane (Thèse de Magister). INA El Harrach, Alger.
- Morsli, B. (2015). Ruissellement et érosion en zone de montagne : recherche des facteurs conditionnels cas des monts de Beni Chougane (Thèse de Doctorat). Université de Tlemcen.
- Morsli, B., & Habi, B. (2015). Effect of hydrodynamic behaviour of clayey soils on the risks of runoff and soil erosion. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 59, 355-376.
- Remini, W., & Remini, B. (2003). La sédimentation dans les barrages de l'Afrique du nord. *Larhyss Journal*, 45-54.
- Roose, E. (1994). Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES) (.70 rome: FAO Soils Bulletin.
- Sahour, H., Gholami, V., Vazifedan, M., & Saeedi, S. (2021). Learning applications for water-induced soil erosion modeling and mapping. *Soil and Tillage Research*, (211). <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105032>
- Tinthon R, 1960. Les Traras, étude d'une région musulmane d'Algérie, *Bulletin de la société de géographie et d' archéologie de la province d'Oran* T. LXXIII. pp :

- 217-309,.
- Tinthoin, R. (1960). Les Traras, étude d'une région musulmane d'Algérie. Bulletin De La société De géographie Et d'archéologie De La Province d'Oran T. LXXIII, 217-309.
- Touaibia B, Gomer D, Aidaoui A, 2000. Estimation de l'index d'érosion de Wischmeir dans les microbassinsexpérimentaux de l'oued Mina en Algérie. Bultein Réseau érosion 2000. pp. 41- 53. <https://beep.ird.fr/collect/bre/index/assoc/20-478-4.dir/20-478-484.pdf>
- Touaibia, B., Gomer, D., & Aidaoui, A. (2000). Estimation de l'index d'érosion de Wischmeir dans les micro bassins expérimentaux de l'oued Mina en Algérie. Bultein Réseau érosion, 41-53.
- Yadav G.S, Das A, Kandpal B.K, Babu S, Lal R, Datta M, Das B, Singh R, Singh V.K, Mohapatra K.P, Chakraborty M, 2021. The food-energy-water-carbonnexus in a maize-maize-mustardcroppingsequence of the IndianHimalayas: An impact of tillage-cum-live mulching. Renewable and SustainableEnergyReviews, Elsevier, vol. 151(C).
- Yadav, G., Das, A., Kandpal, B., Babu, S., Lal, R., Datta, M., ... Mohapatra, K. (2021). The food-energy-water-carbonnexus in a maize-maize-mustard cropping sequence of the Indian Himalayas: An impact of tillage-cum-live mulching. Renewable and Sustainable Energy, 151.