

L'érosion et le ruissellement des sols rouges dans les monts de Zariffet-Algérie : utilisation de simulation de pluies

Dahmani ABDELMADJID¹, Morsli BOUTKHIL², Habi MOHAMMED³

¹Université Abou Bekr Belkaid Tlemcen

²INRF : BP 88, Mansourah, Tlemcen

³Université Abou Bekr Belkaid. Département d'hydraulique
fayoul01@yahoo.fr

Sommaire:

1. INTRODUCTION.....	140
3. RÉSULTATS ET DISCUSSION	144
4. CONCLUSIONS	151
5. REFERENCES.....	152

Citer ce document:

Abdelmadji D., Boutkhil, M., Mohammed, H., 2015. L'érosion et le ruissellement des sols rouges dans les monts de Zariffet-Algérie : utilisation de simulation de pluies. *Cinq Continents* 5 (12): 138-156

L'érosion et le ruissellement des sols rouges dans les monts de Zariffet-Algérie : utilisation de simulation de pluies

Dahmani Abdelmadjid, Morsli Boutkhill, Habi Mohammed

Red-soil erosion and runoff in Zariffet-Algérie Mountains: utilising rain simulation. Soil is slowly renewable resource and once lost, gives a field that will not be as productive for many years. Over time, even small soil losses accumulate to reduced returns. The results obtained by rain simulation tests show that there are relationships between the solid filler (C) and runoff (Kr) especially when the soil is dry. All the results obtained have shown that the intensity of runoff and erosion is closely related to the surface states, they even related to land use, slope and rainfall. The interaction of all these parameters is the origin of the genesis of runoff inducing soil loss. In parallel to these factors studied, other factors seem to increase the soil's susceptibility to erosion in the area Zariffet: increasingly extended water deficit, management practices that no longer follow bioclimatic changing environment and especially natural fire frequency. The simulation method, very useful approach, enabled to have significant results on the behavior of the soil and the factors involved on short notice.

Keywords: mounts of Zariffet, runoff, state of surface, infiltration.

L'érosion et le ruissellement des sols rouges dans les monts de Zariffet-Algérie : Utilisation de simulation de pluies. Le sol est une ressource qui se renouvelle lentement et qui une fois perdu, donne un champ qui ne sera pas aussi productif pendant de nombreuses années. Avec le temps, même de petites pertes de sol s'accumulent pour réduire le rendement. Les résultats obtenus par les essais de simulation de pluie montrent qu'il existe des relations entre la charge solide (C) et le ruissellement (Kr) surtout lorsque le sol est sec. L'ensemble des résultats obtenus ont permis de montrer que l'intensité du ruissellement et de l'érosion est en étroite relation avec les états de surface, elles même en relation avec l'occupation du sol, la pente et les pluies. L'interaction de tous ces paramètres est à l'origine de la genèse des modes de gestion qui ne suivent plus l'évolution bioclimatique du milieu naturel et surtout la fréquence des incendies. La méthode de simulation, approche très utile, a permis dans des brefs délais d'avoir des résultats significatifs sur le comportement du sol et sur les facteurs en cause.

Mots clé: monts de Zariffet, ruissellement, état de surface, infiltration.

1. INTRODUCTION

L'érosion de sols par la pluie et le ruissellement est un phénomène largement répandu dans les différents pays de la méditerranée, qui continue à prendre des proportions considérables en particulier sur les pentes à cause de la nature torrentielle des pluies, de la forte vulnérabilité du terrain (roches tendres, sols fragiles, pentes raides et couvert végétal souvent dégradé), du surpâturage et de l'impact défavorable des activités humaines : déforestation, incendies, mauvaise conduite des travaux agricoles. Le diagnostic des risques de ruissellement et d'érosion sur un versant exige une bonne compréhension du comportement hydrodynamique des sols, en particulier l'origine de la naissance du ruissellement.

Au Maghreb, les potentialités en eau et en sol sont sérieusement menacées [1-15]. En Algérie, le problème de la dégradation de l'eau et du sol demeure une préoccupation majeure. Parmi les principales causes, il convient de citer l'érosion et la désertification [16].

L'érosion hydrique est un phénomène bien connu en Algérie, mais de nos jours, elle prend de plus en plus d'ampleur. Elle reste une préoccupation majeure. L'érosion a déjà érodé environ 45% des terres fertiles en Algérie [17]. Avec une érosion spécifique annuelle moyenne variant entre 2 000 et 4 000 t/km² [2], l'Algérie est classée parmi les pays aux sols les plus érodibles du monde [18]. Environ 6 millions d'hectares sont exposés à une érosion active [16]. La subsistance des populations est de plus en plus menacée par l'accélération de l'érosion [19], principalement dans les montagnes où se concentre plus de 8 millions d'habitants [20].

Au niveau des versants du nord ouest algérien où l'érosion prend naissance et les pointes de crue se forment, les connaissances sont encore insuffisantes sur l'érodabilité des milieux et son évolution sur les versants et surtout sur les facteurs causaux, beaucoup d'efforts restent à accomplir pour comprendre et appréhender les processus érosifs. Les problèmes déterminants de l'érosion sont multiples, beaucoup de choses restent inconnues [21]. On estime à plus de 20 millions d'hectares de terres touchées par l'érosion particulièrement dans les zones où sont implantés plus de 90% des ouvrages hydrauliques ou vivent environ 20 millions d'habitants [22]. Les zones de montagne restent les plus touchées par l'érosion.

Dans les monts de Tlemcen qui font partie du nord ouest algérien, l'érosion est très active. Les conditions naturelles (climat, relief, sol et couverture végétale) et la pression humaine accélèrent de plus en plus l'érosion.

Notre objectif est l'étude de l'érosion et du ruissellement des sols rouges dans les versants des monts de Zariffet. Notre travail est limité principalement à l'analyse de l'influence des états de surfaces et de couverture, créés par les différentes occupations et utilisations du sol, dans le déclenchement du ruissellement et de l'érosion.

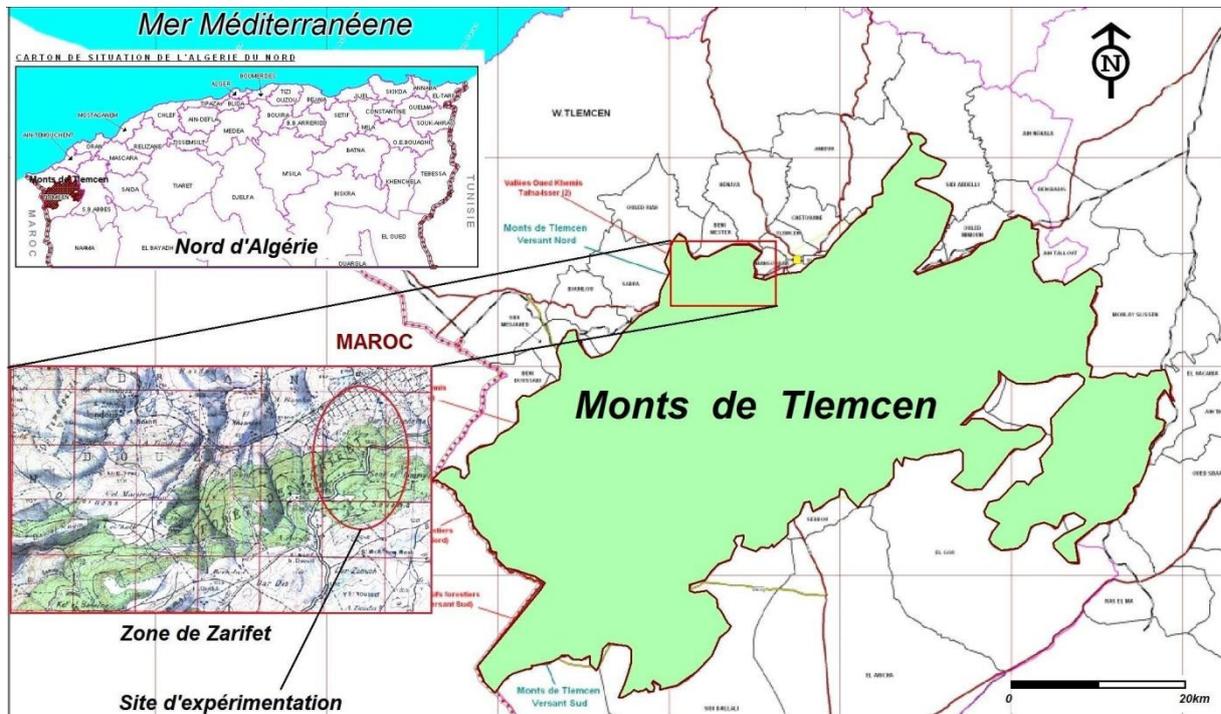


Figure 1. Situation géographique des monts de Zariffet

Les monts de Zariffet, situés au Nord-Ouest de l'Algérie, dans la partie occidentale de la chaîne tellienne, présentent une orientation générale W SW- ENE, ils sont affectés de failles plus ou moins transversales [23]. Les substratums géologiques appartiennent au jurassique supérieur. Ils sont représentés par des grès séquaniens, les calcaires et les dolomies. Cependant, on remarque que les monts de Tlemcen sont formés par un ensemble de couches marno calcaires alternées avec des couches de grès. Ils représentent des versants assez pentus [24] et dissymétriques ou la pente dépasse parfois les 30 %, ils constituent une barrière aux masses d'air chargées d'humidité provenant du Nord à travers la méditerranée (Figure 1). Le massif de Zariffet reçoit une moyenne pluviométrique de l'ordre de 600 mm [25].

2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

Afin de pouvoir apprécier au mieux le comportement du sol sur la naissance du ruissellement et le déclenchement de l'érosion et pour faciliter la comparaison des résultats, nous avons utilisé la méthode de la simulation de pluie. La simulation de pluie est couramment utilisée dans les études expérimentales d'érosion et de ruissellement,

elle permet l'analyse du rôle des différents facteurs de ruissellement, d'infiltration et d'érosion [26-33] et elle permet de compléter les données issues des parcelles expérimentales hectométriques [34]. L'approche est basée sur l'utilisation de parcelles expérimentales de 1m² sur lesquelles les dynamiques érosives et les différentes situations d'état de surface ont été analysées. Le simulateur de pluie utilisé est de type ORSTOM.

Le sol rouge a fait l'objet d'étude. Ce type de sol formé sur du grès est prédominant dans les monts de Tlemcen et reste très affecté par l'érosion. Il est présent dans toute la zone méditerranéenne. La zone d'étude, où les études expérimentales ont été effectuées, se situe au niveau des monts de Tlemcen - Algérie (Figure 1). Cette zone se présente est caractérisée par un système agro-sylvo-pastoral. Ce système, se traduit par un écosystème fragile et vulnérable où les impacts sont importants sur la végétation et par conséquent sur le sol. La zone d'étude est occupée essentiellement de sols rouges reposant sur des grès. Ce sont des reliques d'anciens sols rouges fersiallitiques. Sur cette zone, se succèdent différentes occupations de sol : formations arbustives, formations buissonnantes et des zones cultivées.

La simulation de pluies permet d'isoler le facteur sol et d'observer son comportement sans qu'il y ait de confusions avec les autres facteurs du milieu. C'est le moyen approprié pour apprécier la naissance du ruissellement sur une placette. En effet, avant que le ruissellement ne se concentre et ne s'accélère, il se forme en surface à mesure que le sol se dégrade et se ferme. Lorsque ces conditions sont réunies, l'intensité de pluie dépasse alors l'intensité d'infiltration de la pluie dans le sol : il ya engorgement d'eau à la surface du sol qui est prête à ruisseler. La lutte antiérosive devra donc prendre en compte cet effet qui marque la naissance du phénomène [34].

Les simulations de pluie, en conditions contrôlées (lame d'eau et intensités des précipitations proches des conditions naturelles, et contrôle des autres paramètres: état de surface, etc.), s'avèrent très utiles pour évaluer et comparer rapidement sur différents sites le comportement hydrodynamique (infiltration et ruissellement) et le comportement érosif (turbidité du ruissellement et détachabilité du sol). Toutefois, si ces simulations de pluie permettent de simuler de manière satisfaisante les pluies réelles, en volume et en énergie cinétique, elles ne représentent pas correctement l'érosion du sol aux échelles qui nous intéressent, de la parcelle à la région. La nature multi échelles des phénomènes d'érosion comprend des processus successifs de mobilisation et de dépôt de sol, s'enchaînant sur des étendues nettement supérieures au mètre carré sur lequel les simulations sont réalisées.

Hudson souligne que les courants de la recherche sur le ruissellement et l'érosion suivent trois types d'approches qui se distinguent par les échelles et estime que les

échelles hectométriques et métriques constituent d'excellent support pour évaluer ces phénomènes à l'échelle de la parcelle [35].

Nous avons réalisé plusieurs essais de simulation de pluie sur différents états de surfaces et de couverture du sol, avec trois répétitions pour tester l'influence de ces états sur la variabilité du ruissellement et l'érosion. Les états de sols étudiés sont les suivant :

- sols travaillé rugueux
- sol non travaillé nu et tassé
- sol couvert de pierres : petite pierre posé à la surface du sol (15% de couverture).
- sol couvert de mulching : grande couche de végétation morte (paille).
- sol couvert de litière : petite couche de litière d'une formation forestière.
- sol couvert de broussaille : couverture par la végétation herbacée (graminée).

Sur ces états, nous avons appliqué deux intensités de pluie (30 et 50 mm/h). Les essais ont été réalisés sur deux types de pente (17 et 25 %).

2.1. Protocol expérimental

Pour évaluer le risque du ruissellement et de l'érosion et analyser les facteurs conditionnels, nous avons mené plusieurs campagnes de simulation de pluie sur différentes états. Les comportements ont été analysés au cours de deux périodes :

- Campagne d'automne, période où le sol est sans couverture végétale. Le sol est nu, sans couvert végétal, plus ou moins tassé, les seules couvertures qui peuvent exister sont celles des litières, des pierres ou des couvertures végétales pérennes. Le taux de couverture diffère d'une situation à une autre selon le mode de gestion du sol.
- Campagne de printemps lorsque le développement du couvert végétal atteint le maximum.

Les comportements de divers états de surfaces et de couverture de sol qui ont été testés : Sol travaillé, sol couvert par la litière, sol couvert de mulching, sol couvert des pierres et couvert de broussaille. Toutes ces situations ont été rencontrées au niveau de la toposéquence de la zone d'étude.

Pour déterminer les intensités et les durées avec lesquelles il faut travailler, nous avons étudié la nature des pluies naturelles, leurs hauteurs, leurs intensités et leurs durées.

L'analyse des pluies et le type de simulateur de pluie, nous ont conduits à choisir des intensités de 30 et 50 mm/h.

Nous avons appliqué des évènements pluvieux sur deux états du sol :

Etat sec : nous considérons sec, les sols n'ayant pas reçu de pluie depuis 25 jours.

Etat humide : il s'agit d'un sol ayant reçu récemment plusieurs pluies, la dernière s'étant produite au plus une heure auparavant.

La pente intervient dans le phénomène de l'érosion et le ruissellement du fait de son inclinaison, de sa longueur et de sa forme. Les classes de pente choisies sont de l'ordre de 17% et 25% vu que dans notre zone d'étude, les pentes les plus répandues sont de l'ordre de 12.5% à 50%.

2.2. Description du simulateur de pluie

L'appareil est constitué d'un système d'arrosage fixé au sommet d'une tour en forme de tronc de pyramide de 3.8 mètres de haut et 16 mètres carrés à la base, susceptible de recevoir une bâche pour la protection contre le vent. Cette structure est supportée par 4 pieds télescopiques afin de pouvoir être convenablement placée sur n'importe quelle superficie et particulièrement sur de fortes pentes.

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1. Ruissellement et érosion

3.1.1. Ruissellement

Le ruissellement se déclenche lorsque le sol cesse d'absorber la totalité de la pluie. La pluie en excès est alors disponible pour le ruissellement [5].

La détermination du coefficient de ruissellement (Kr) de la pluie pour nos différents essais de simulation de pluie se fait selon la formule :

$$Kr = \frac{\text{Volume d'eau ruisselé (litres)}}{\text{Pluie (mm) X surface de la parcelle (1m}^2\text{)}} \times 100$$

Les coefficients de ruissellement sont plus élevés pour les états humides (Figure 2), il varie entre 3 et 28 %. Pour les états secs, on enregistre des valeurs de l'ordre de 2 à 20 %.

3.1.2. Variation du ruissellement en fonction des états de surface du sol

La modification de l'état de surface conditionne le démarrage du ruissellement. Les mottes et les pierres servent comme barrière contre la circulation de l'eau à la surface.

Nos résultats indiquent que les sols travaillés et les sols couverts de pierres enregistrent un coefficient de ruissellement moins élevé par rapport au sol nu et tassé.

Les surfaces fermées vont produire rapidement de l'eau libre à la surface du sol. Pour que celle-ci ruisselle, il faut qu'elle évite les pièges des surfaces rugueuses. Les mottes se comportent souvent comme des pierres (peu perméables) et sont à l'origine d'une redistribution de matériaux qui contribuent à colmater la surface du sol [36]. Nous avons remarqué que tant que les mottes sont cohérent (argileux) et grossier, le risque du ruissellement et de l'érosion est réduit.

Lors des premières pluies, sur sol initialement sec, les pertes en eau en restent très faibles. Lors des deuxièmes pluies, sur sol humide, tous les traitements ruissellent et les pertes en eau sont particulièrement fortes. Les coefficients de ruissellement sont plus élevés sur un sol humide que sur un sol sec. On enregistre une augmentation de 30 à 60% du coefficient de ruissellement en passant d'un sol sec à un sol humide. Un sol humide absorbe moins rapidement de l'eau qu'un sol sec. Cette différence est du probablement aussi au gonflement des argiles présentes dans le sol. L'humidité de la couche superficielle influence la réaction du sol à la pluie [37]. Cette influence est associée à la modification de l'état de surface par l'effet de splash qui contribue à la fermeture du sol. Les observations effectuées après chaque simulation de pluies montrent que les modifications de l'état de surface (colmatage et fermeture, aplanissement de la surface du sol) l'emportent sur l'effet de l'humidité du sol. L'effet de la teneur en eau du sol n'intervenait parfois que partiellement dans le déclenchement du ruissellement [38] ; [39].

3.1.3. Variation du ruissellement en fonction de la couverture du sol

La couverture du sol influence aussi le coefficient de ruissellement. Le plus faible ruissellement est enregistré au niveau du sol couvert de mulching ($K_r = 2\%$). Il est suivi par le sol couvert de litière qui enregistre 4 %. Par contre pour le sol nu et tassé il arrive à 16 %. La simulation de pluies sur sol couvert montre que le ruissellement est faible dans l'ensemble, surtout lorsque le sol est mulché ou porte une végétation importante. Les situations sans mulch connaissent toutefois des ruissellements importants (Figure 2). Les pluies simulées sur sol nu produisent un ruissellement élevé [40].

Il s'avère que la couverture du sol joue un rôle prépondérant dans le déclenchement du ruissellement et de l'érosion. Beaucoup d'auteurs (Wischmeier et Smith, 1978; Hudson, 1992; Laouina, 1992; Mouffadel, 2001; Roose et al., 2012) ont montré l'effet positif de la couverture du sol sur la réduction de l'érosion [41]; [35]; [42]; [43]; [15]. La porosité du sol reste ouverte grâce à la couverture du sol et à la présence d'une litière plus ou moins permanente et couvrante. La relation est hautement significative entre la pluie d'imbibition et les surfaces couvrantes [44].

L'analyse des facteurs explicatifs de la différenciation de comportement a mis en relief l'aspect prépondérant des états de surface : surfaces fermées (Sf) et surfaces couvrantes (Sc). L'infiltration finale (Fn) est aussi liée à ces deux états de surface.

La bonne relation entre ces surfaces (Sf et Sc) et la pluie d'imbibition montre l'importance du rôle des états de surfaces dans la régulation des flux d'eau et dans la détermination du comportement des sols vis-à-vis de l'érosion. Ces surfaces (Sf et Sc) sont de bons indicateurs de ruissellement surtout pour les sols non travaillés (jachères et parcours).

La simulation de pluies sur sol couvert montre que le ruissellement est faible dans l'ensemble, surtout lorsque le sol est mulché ou porte une végétation importante.

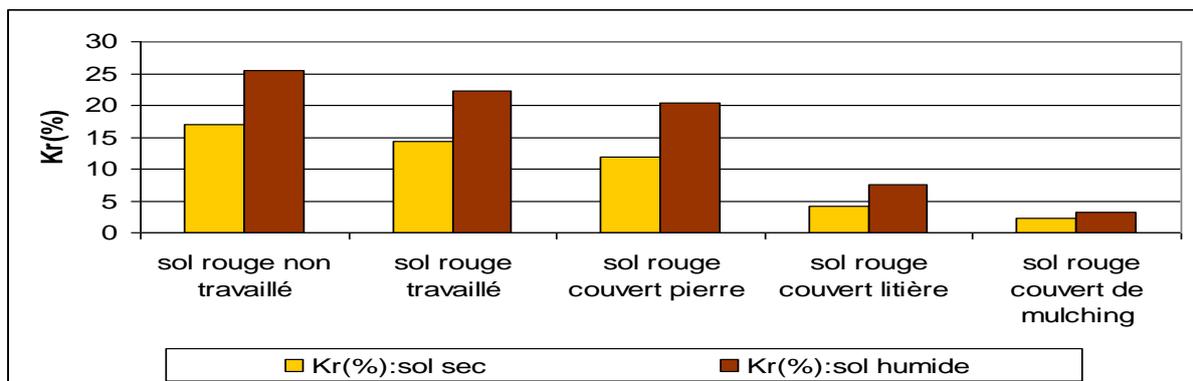
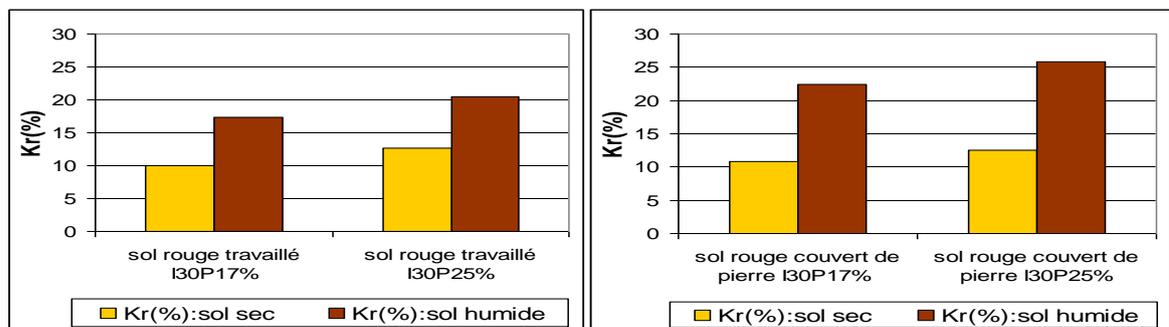


Figure 2. évolution du ruissellement en fonction de l'état du sol (Intensité : 50mm/h ; pente : 25%)

3.1.4. Effet de la pente du terrain sur le ruissellement

L'accroissement de la pente favorise l'augmentation du coefficient de ruissellement. Le passage d'une pente de 17% à 25% entraîne une augmentation de 20% du coefficient de ruissellement pour le sol travaillé et de 11 % pour le sol couvert de pierre (Figure 3). Cela est due principalement à la réduction de l'effet de freinage du au frottement de l'écoulement de l'eau sur une pente forte par rapport à une pente plus faible. Lorsque la pente augmente, le transport s'accélère vers le bas car l'énergie cinétique du ruissellement augmente. Le ruissellement croit de façon très rapide pour de faibles variations de pente [33].



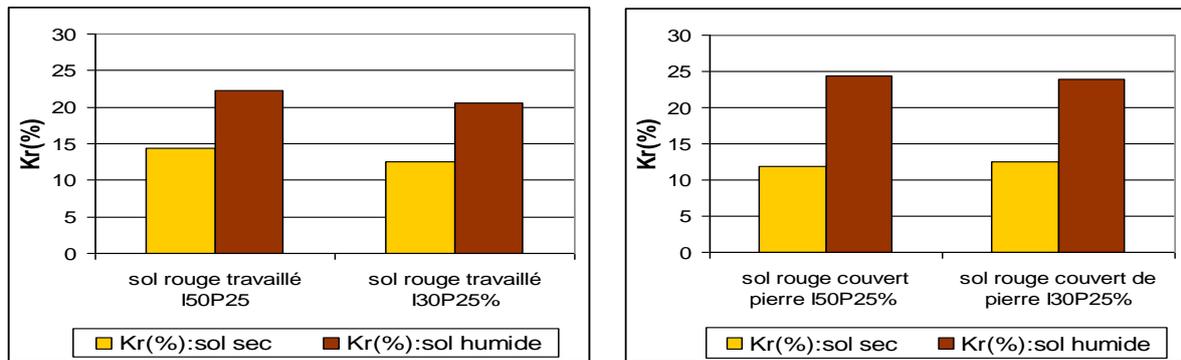
I : intensité de pluie (mm/h)

P : la pente du terrain (%)

↑Figure 3. Evolution du ruissellement en fonction de la pente

3.1.5. Effet de l'intensité de pluie sur le ruissellement

Dans notre cas, on a remarqué qu'une fois l'intensité de la pluie augmente (de 30 à 50 mm/h) la valeur du coefficient de ruissellement augmente (Figure 4). Cette augmentation n'est pas importante et elle tourne autour de 5 % pour le sol couvert de pierre et le sol travaillé.



I : intensité de pluie (mm/h) P : la pente du terrain (%)

Figure 4. évolution du ruissellement en fonction de l'intensité.

3.2. Érosion

3.2.1. Effet de l'état de surface du sol sur l'érosion

Les gouttes de pluie désagrègent les fines particules du sol qui peuvent ensuite être entraînées par le ruissellement en fonction de sa capacité de transport. La présence de pierres à la surface a empêché et réduit la concentration et on a enregistré des valeurs qui ne sont pas importantes (6 g/l), donc, on peut dire que les pierres protègent la surface du sol contre l'impact des gouttes de pluie. Quand au travaille du sol, au niveau des sols travaillés les charges en solides sont importantes, On enregistre des valeurs importantes de la concentration du sol travaillé (16 g/l), car l'état de surface des parcelles labourées évolue d'une structure motteuse à une structure lisse sur laquelle une croûte de battance tend à se former. Le sol se tasse, des flaques se forment et la perte en sédiments devient de plus en plus importante. Le sol, quand il est travaillé et exposé à la battance des pluies, la charge solide du ruissellement augmente significativement.

Pour l'humidité préalable, on a constaté que les concentrations prennent des valeurs de l'ordre de 03 à 16 g/l pour les sols secs où les particules sont susceptibles au transport par les lames d'eau ruisselées et de 4 à 26 g/l pour les sols humides (Figure 5).

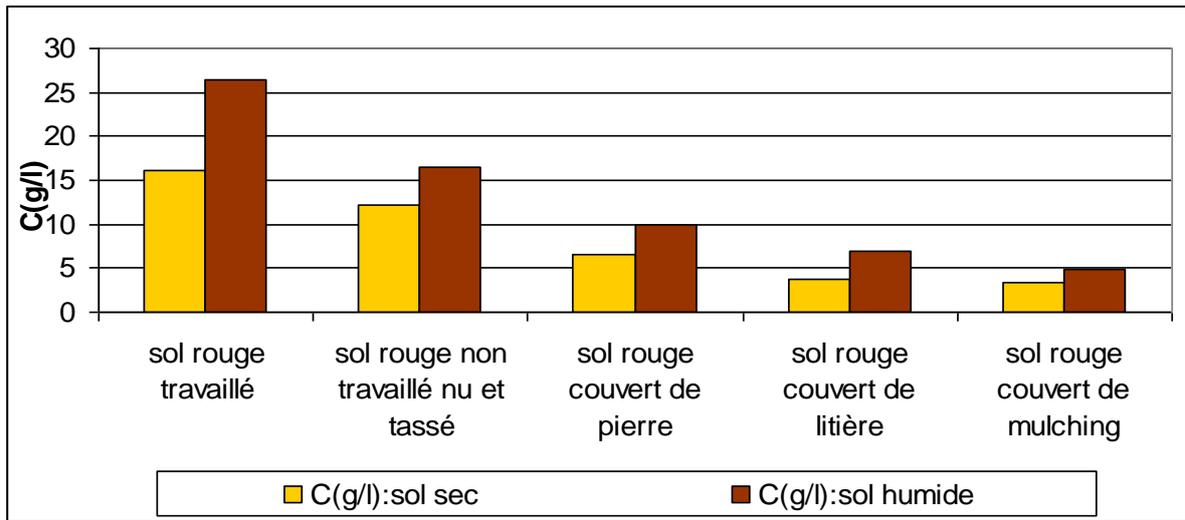


Figure 5. Effet de l'état de sol sur la concentration (Intensité : 50mm/h ; pente : 25%)

L'état d'un sol sec se traduit par un réseau très serré de fissures et d'une complète désagrégation en fines particules de l'horizon de surface. Les petites particules désagrégées qui se détachent facilement sont immédiatement emportées par les eaux de ruissellement. Par contre à l'état humide les pluies précédentes ont déjà attaqué les agrégats terreux, provoquant une diminution de la rugosité, un colmatage des pores et une formation d'une croûte superficielle qui réduit relativement l'ablation du sol tout en engendrant le ruissellement.

Asseline et Valentin (1978), a testé la sensibilité du sol à l'érosion pour mesurer les pertes en eau induits, il a produit une averse artificielle la première sur sol sec et la seconde 24 h plus tard [45]. Il a remarqué que lors des premières pluies, sur sol initialement sec, les pertes en eau et en terre restent très faibles. Lors des deuxièmes pluies, sur sol humide, les pertes en eau et en terre sont particulièrement fortes.

3.2.2. Effet de l'état de couverture du sol sur l'érosion

Les plus faibles concentrations sont enregistrées au niveau du sol couvert de mulching et le sol couvert de litière (3 g/l), contrairement au sol non travaillé nu et tassé (12g/l). C'est-à-dire quand le sol est couvert, il est protégé contre le risque d'érosion. Le couvert végétal est sans doute parmi les facteurs les plus puissants pour réduire les risques d'érosion [46], [47], il ralentit l'écoulement du ruissellement et maintient une bonne porosité à la surface du sol [48]. L'érosion en nappe peut être maîtrisée par un simple paillage de 01cm d'épaisseur [49].

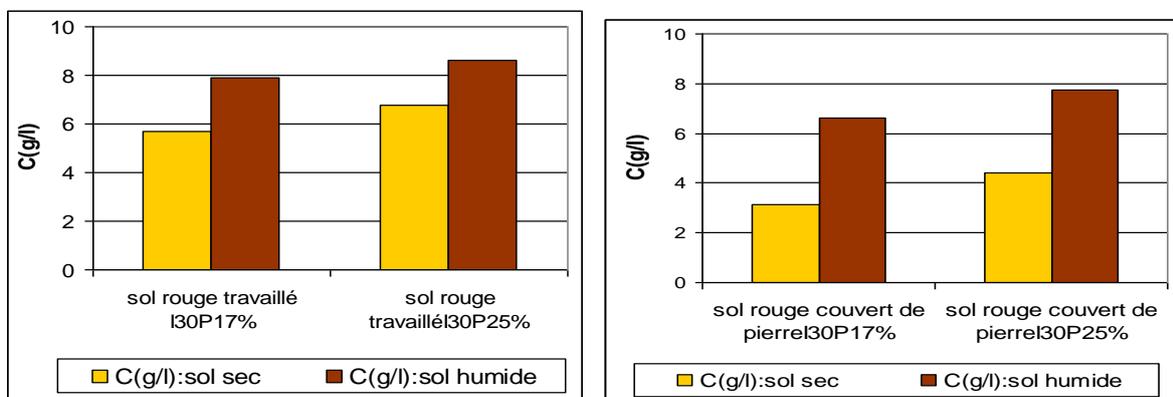
3.2.3. Effet de pente de terrain sur l'érosion

L'effet de la pente est observé en passant de 17% à 25%. Les valeurs de la détachabilité augmentent de 15 % pour le sol travaillé et sec et de 09 % pour le sol à

l'état humide et dégradé. Pour le sol couvert de pierre sec, la valeur de la détachabilité augmente de 28 %, par contre pour le même sol à l'état humide et dégradé l'augmentation est de 15 %. Une pente faible peut favoriser l'accumulation des particules du sol contraignant la force du ruissellement, par contre, une pente plus accentuée engendre une abondante lame ruisselée chargée du maximum de particules de sol (figure 6).

Soltner (1987), montrent que sur des pentes de 8 %, le ruissellement n'apporte que 10% de l'énergie provoquant l'érosion, mais cette proportion augmente rapidement avec la pente de 60% [50].

Hudson (1992) et Roose (1996), montrent également que l'érosion croît avec l'inclinaison de la pente car l'énergie cinétique du ruissellement augmente et l'emporte sur l'énergie cinétique des pluies dès que les pentes dépassent 15 % [35], [51].

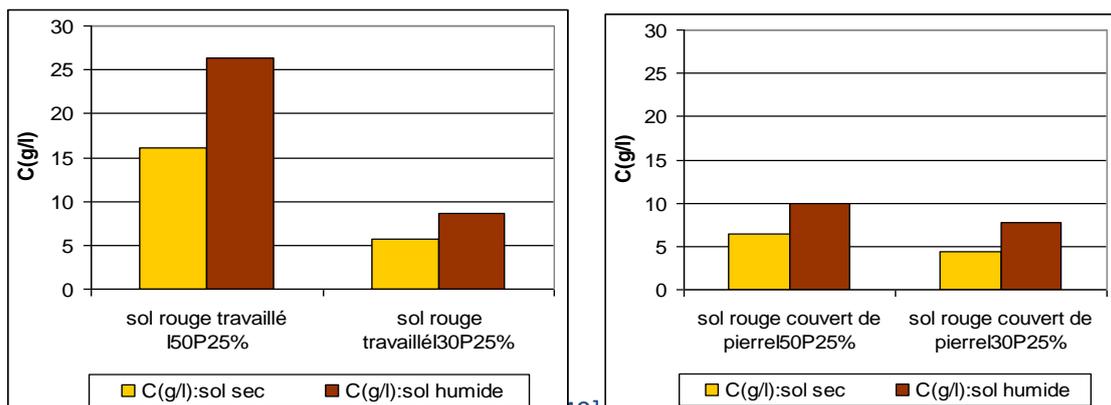


I : intensité de pluie (mm/h) P : la pente du terrain (%) C : concentration (g/l)

Figure 6. Effet de la pente sur la concentration

3.2.4. Effet de l'intensité de pluie sur l'érosion

Pour l'effet de l'intensité des pluies sur l'érosion, nous avons remarqué que lors des fortes pluies (50 mm/h), la détachabilité est plus élevée sur sol humide et dégradé que sur sol sec. Lors de ces fortes pluies, le ruissellement s'est intensifié, certains filets de ruissellement se sont développés, donc un cisaillement par les eaux de ruissellement et par conséquent, une augmentation de sédiments qui peut être due aussi à l'énergie des gouttes des premières pluies (Figure 7).



↑ I : intensité de pluie (mm/h) P : la pente du terrain (%) C : concentration (g/l)

Figure 7. Effet de l'intensité de la pluie sur la concentration

3. Recherche de relations entre les paramètres mesurés

Les résultats obtenus sur les différents états étudiés montrent qu'il existe des relations entre la charge solide « C » et le coefficient de ruissellement « Kr ». Pour spécifier cette relation mathématiquement, nous avons procédé à un traitement des données afin de trouver le modèle mathématique le plus significatif entre ces deux paramètres.

Le modèle mathématique linéaire : $Y = A + Bx$ $C = A + BKr$ a donné de bons résultats. Les relations trouvées avec leurs coefficients de détermination « R² » et de corrélation « R » sont regroupées dans les tableaux 1, 2.

Tableau 1. Relation entre « C » et « Kr » pour les pentes 17% et 25%

Traitement	Intensité (mm/h)	Pente (%)	Etat du sol	Nombre	Expression	R ²	R	
Sol travaillé	30	17	sec	15	$C = -0,11kr + 9,73$	0,58	-0,76	
			humide	15	$C = 0,04Kr - 0,39$	0,02	0,16	
Rugueux		25	sec	19	$C = 0,22kr - 5,06$	0,56	0,75	
			humide	18	$C = 0,48kr - 25,85$	0,30	0,55	
Sol couvert de		30	17	sec	20	$C = -0,14kr + 8,57$	0,36	-0,60
				humide	18	$C = -0,21kr + 26,9$	0,10	-0,32
Pierre			25	sec	23	$C = 0,049kr + 1,18$	0,08	0,29
				humide	23	$C = -0,21kr + 24,5$	0,10	-0,32

Tableau 2. Relation entre « C » et « Kr » pour les intensités 30 et 50

Traitement	Pente (%)	Intensité (mm/h)	Etat du sol	Nombre	Expression	R ²	R
Sol travaillé rugueux	25	30	sec	19	$C = -0,15kr + 9,60$	0,41	-0,64
			humide	18	$C = 0,48kr - 25,85$	0,30	0,55
50		sec	22	$C = 0,32kr - 4,87$	0,90	0,95	
		humide	22	$C = -0,04kr + 27,83$	0,004	-0,06	
Sol couvert de pierre		30	sec	23	$C = 0,13kr - 0,86$	0,20	0,45
			humide	23	$C = 25,31 - 0,22kr$	0,07	0,27

		50	sec	22	$C=0,14kr+0,65$	0,53	0.73
			humide	22	$C=0,009kr+3,13$	0,02	0.16

Les résultats montrent que pour le sol travaillé sec, il existe une relation entre la concentration et le ruissellement. Alors que pour les autres traitements, la relation entre le ruissellement et l'érosion est très faible. Ceci est dû à l'influence de d'autres facteurs dans la variation de l'érosion, tel que les états de surface, les caractéristiques du sol. Les particules sont d'autant plus difficilement détachables, qu'elles sont petites du fait des liaisons fortes qui se forment avec les colloïdes et la matière organique. Par contre, les traitements de surface, tel que le travail du sol vont dans le sens inverse [52].

A l'état humide, on remarque qu'il n'y a pas de corrélation entre le Kr et C. La stabilité structurale est influencée par de nombreuses caractéristiques des sols dont les plus importants sont la texture, la teneur en matière organique et l'état et l'histoire hydrique [53].

4. CONCLUSIONS

Au terme de ce travail réalisé dans les monts de Zariffet, nous pouvons conclure que les facteurs d'érosion étudiés au niveau de ces monts font bien apparaître la sensibilité des sols à l'égard de l'érosion hydrique. Les paramètres qui paraissent conditionner pour une large part le comportement des sols vis à vis du ruissellement et de l'érosion sont les états de surfaces et les états de couverture. Ces états influencent beaucoup le seuil de déclenchement du ruissellement et de l'érosion.

Les états de surface lié au sol (rugosité), influence surtout la pluie d'imbibition et le taux de détachabilité. Plus le sol est rugueux plus l'infiltration est grande (sol travaillé et motteux). Mais plus le sol est désagrégé, plus la détachabilité est grande. Le travail du sol apparaît, à l'issue de ces premières expériences comme une méthode très utile, mais cet effet significatif sur le ruissellement et l'érosion est temporaire et se fait ressentir uniquement pour les premières pluies. Des expérimentations récentes ont montré que les risques de ruissellement et d'érosion peuvent beaucoup baisser avec un travail du sol de grande rugosité et combinées avec les résidus maintenus en surface. La couverture du sol (mulching, litière et broussaille) joue un rôle important en interceptant une grande part de l'énergie liée à la goutte de pluie. Ces couvertures du sol agissent par la protection du sol (pluies d'imbibitions élevées), mais surtout par la porosité sous-jacente, souvent élevée. Ceci se traduit par une corrélation positive entre pluies d'imbibitions, l'intensité minimale d'infiltration et les surfaces couvertes qu'on retrouve dans les différentes formes d'occupation du sol rencontrées dans les toposéquences de Zariffet (mulching, litière et broussaille).

Mais cette influence reste aussi dépendante de l'intensité de pluie et de la pente. Plus l'intensité est forte plus le déclenchement du ruissellement et de l'érosion est rapide. L'intensité de pluie tout en augmentant, elle détruit de plus en plus rapidement la structure du sol et par conséquent la pluie d'imbibition diminue.

L'effet de la pente sur le déclenchement du ruissellement et de l'érosion n'est pas négligeable. Pour une pente très forte, le déclenchement du ruissellement est relativement plus rapide, ne laissant pas un temps suffisamment long pour l'imbibition du sol. Mais à cette échelle de 1 m², il est difficile d'étudier l'influence de la pente. L'humidité initiale des sols a aussi un rôle dans le déclenchement du ruissellement et de l'érosion. Les premières pluies, lorsque le sol est sec, ont peu de chances de donner du ruissellement, puisque le réseau de fissures permet de véhiculer l'eau rapidement en profondeur. Par contre quand le sol est humide, le risque de ruissellement et de l'érosion augmente.

Les résultats obtenus par les essais de simulation de pluie montrent qu'il existe des relations entre la charge solide (C) et le ruissellement (Kr) surtout lorsque le sol est sec. L'ensemble des résultats obtenus ont permis de montrer que l'intensité du ruissellement et de l'érosion est en étroite relation avec les états de surface, elles même en relation avec l'occupation du sol, la pente et les pluies. L'interaction de tous ces paramètres est à l'origine de la genèse des ruissellements induisant des pertes en terre.

En parallèle à ces facteurs étudiés, d'autres facteurs semblent accentuer la sensibilité du sol à l'érosion dans la zone de Zariffet : le déficit hydrique de plus en plus prolongé, les modes de gestion qui ne suivent plus l'évolution bioclimatique du milieu naturel et surtout la fréquence des incendies.

Les états de surface et couverture constituent les indicateurs les plus pertinents dans la régulation du ruissellement et de l'érosion. Ces états sont en relation avec les systèmes de gestion du milieu donc liées aux activités humaines. Ce travail modeste montre, vu les systèmes de gestion pratiqués, de grandes possibilités de maîtrise de l'érosion par des pratiques adéquates et une organisation spatiale judicieuse de ces pratiques.

5. REFERENCES

- [1] HEUSH B. Estimation et contrôle de l'érosion hydrique. C.R.Soc.Sc.Nat et Phy du Maroc T37 : 43-48, 1971.
- [2] DEMMAK A. Contribution à l'étude de l'érosion et des transports solides en Algérie. Thèse de Doc. Ing. Paris VI, 1982.
- [3] MEDDI M. hydro pluviométrie et transport solide dans le bassin versant de l'oued Mina Algérie. Thèse de Doctorat, Univ Louis pasteur Strasbourg France, 1992.

- [4] LAHLOU A. Envasement des barrages au Maroc. Casablanca-Maroc; Editions Wallada, 1994.
- [5] MORSLI B. Caractérisation, distribution et susceptibilité à l'érosion des sols de montagne - Cas des monts de Beni-Chougrane. Thèse de Magister INA El Harrach Alger, 1996.
- [6] CHEBBANI R., DJILI K., ROOSE E. Etude des risques d'érosion dans le bassin versant de l'isser, Algérie. Bulletin Réseau Erosion, 19: 85-95, 1999.
- [7] ROOSE E. Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui aide au diagnostic de terrain sur les risque de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes . Bull. Réseau Erosion, 16 : 87-97, 1996.
- [8] LAOUINA A., NAFAA R., COELHO C., CHAKER M., CARVALHO T., BOULET A.N., FERREIRA A. Gestion des eaux et des terres et phénomènes de dégradation dans les collines de Ksar El Kebir, Maroc. Bull Réseau Erosion : 256 -274, 2000.
- [9] TOUAÏBIA B., GOMER D., AÏDAOUI A. Estimation de l'index d'érosion de Wischmeier dans les microbassins expérimentaux de l'Oued Mina en Algérie du Nord. Bulletin Reseau Erosion, 20 : 478-84, 2000.
- [10] MAZOUR M., ROOSE E. Influence de la couverture végétale sur le ruissellement et l'érosion des sols sur parcelles d'érosion dans des bassins versants du Nord – Ouest de l'Algérie. Bulletin Réseau Erosion, IRD, Montpellier (France), 21: 320-330, 2002.
- [11] TERFOUS A., MEGNOUNIF A., BOUANANI A. Détermination des dégradations spécifiques dans trois bassins-versants des régions méditerranéennes algériennes. IAHS Publication, 278 : 366-72, 2003.
- [12] MORSLI B., MAZOUR M., MEDEJEL N., HAMOUDI A., ROOSE E. Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et d'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. Sécheresse, 15 (1) : 96-104, 2004.
- [13] ACHITE M., MEDDI M. Variabilité spatio-temporelle des apports liquide et solide en zone semi aride, Cas du bassin de l'oued Mina nord ouest Algérien Rev. Sci. Eau. 18 : 37-56, 2005.
- [14] MORSLI B., HABI M., MAZOUR M., HAMOUDI A., HALITIM A. Erosion et ruissellement en montagnes méditerranéennes d'Algérie du NO: analyse des facteurs conditionnels sous pluies naturelles et artificielles. Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, 1: 33-40, 2012.
- [15] ROOSE E., SABIR M., ARABI M., MORSLI B., MAZOUR M. Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb », Physio-Géo [En ligne], Volume 6/2012, mis en ligne le 03 mai 2012. URL : <http://physio-geo.revues.org/2319> ; DOI : 10.4000/physio-geo., 2319 : 43-69, 2012.

- [16] HEDDADJ D. La lutte contre l'érosion en Algérie. Bull. réseau-érosion n° 17, Edit. IRD, Montpellier, 168-175, 1997.
- [17] MINISTÈRE DE L'AMÉNAGEMENT DU TERRITOIRE ET DE L'ENVIRONNEMENT (MATE). Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement en Algérie, 2000.
- [18] TOUAIBIA B. Problématique de l'érosion et du transport solide en Algérie septentrionale. Sécheresse, 21 (1) : 1-6, 2010.
- [19] SARI D. L'homme et l'érosion dans l'Ouarsenis (Algérie). Thèse doctorat. Alger. éditions. SNED, 1977.
- [20] TAABNI M. Aménagement, lutte contre l'érosion des terres et pratiques paysannes dans les montagnes telliennes du nord ouest algérien. BRE, 18. : 348 – 363, 1998 .
- [21] ACHITE M., TOUAIBIA B., OUILLON S. Erosion hydrique en Algérie du Nord : ampleur, conséquences et perspectives, Proc. 14ème Conférence de l'Organisation Internationale de la Conservation des Sols ISCO 2006, Marrakech, Maroc, 15-19 mai, 2006.
- [22] MAZOUR M. Les facteurs de risque de l'érosion en nappe dans le bassin versant d'Isser : Tlemcen, Algérie. Bull. Réseau Erosion, 12 : 300-313, 1992.
- [23] DOUMERGUE F. Carte géologique de l'Algérie au 1/50.000. Feuille n° 271 ; 1910.
- [24] ANONYME. étude de réhabilitation de la foret domaniale de Zariéffet. Conservation des forets de Tlemcen. Document interne ; 2000.
- [25] DAHMANI A. Contribution à l'étude de l'érosion et du ruissellement des sols rouges dans les monts de Tlemcen : Utilisation de simulation de pluies, mémoire de Magister. Universit2 de Tlemcen ; 2011.
- [26] BOUDJEMLINE D., BENMARA L. Comportement hydrodynamique des horizons pédologiques superficiels. Étude expérimentale sous pluies simulées et sous plan d'eau. In : Efficacité de la GCES en milieux semi-arides, É. ROOSE, J. ALBERGEL, G. DE NONI, A. LAOUINA et M. SABIR édit., Édit. AUF-IRD-ENFI, Paris : 343-347 ; 2008.
- [27] CHEGGOUR A. Mesures de l'érosion hydrique à différentes échelles spatiales dans un bassin versant montagneux semi aride et spatialisation par des S.I.G. : Application au bassin versant de la Rhéraya, Haut Atlas, Maroc. Thèse 2008.
- [28] ROOSE E. Évolution des techniques antiérosives dans le monde efficacité de la gestion de l'eau et de la fertilité des sols en milieux semi-arides. Actes de la session VII organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc), du 14 au 19 mai 2006.
- [29] ROOSE E., SMOLIKOWSKI B. Comparaison de trois techniques de mesure de l'infiltration sur fortes pentes : monocylindre et 2 simulateurs de pluies. Application à un versant de la vallée de Godim au Cap Vert. Bull. Réseau Érosion 17 : 282-296, 1997.

- [30] CHEGGOUR A., SIMONNEAUX V., SABIR M., ROOSE E. Recherche d'indicateurs de ruissellement et d'érosion par simulations de pluie sur les principaux sols du bassin versant du Rhéraya (Haut-Atlas occidental, Maroc), Actes de la session VII organisée par le Réseau E-GCES de l'AUF au sein de la conférence ISCO de Marrakech (Maroc), du 14 au 19 mai 2006.
- [31] MORSLI B., HABI M., MAZOUR M., HAMOUDI A., HALITIM A. Erosion et ruissellement en montagnes méditerranéennes d'Algérie du Nord: analyse des facteurs conditionnels sous pluies naturelles et artificielles Rev. Mar. Sci. Agron. Vét. 1:33-40, 2012.
- [32] ASSELINE J. Le simulateur de pluie en 1997 (type ORSTOM, Asseline-Valentin) : adaptations aux zones semi-arides et de montagne. In : DE NONI GEORGES (ED.), LAMACHERE, 1979.
- [33] ROOSE E. GCES dans les paysages soudano-sahéliens d'Afrique occidentale, In (Soil, crop water management for raided agriculture in the sudano-sahelian zone) Proc. ICIUSAT, Niamey, 1987.
- [34] DE NONI G., VIENNOT M., ASSELINE J., TRUJILLO G. La lutte contre l'érosion dans les Andes équatoriennes. IRD ed. 2001.
- [35] HUDSON NW. LAND HUSBANDRY, Batsford, London, 1992.
- [36] BOLI Z., ROOSE E., BEP AZIEM B., SANON K., WAECHTER F. Effets des techniques culturales sur le ruissellement, l'érosion et la production de coton et maïs sur un sol ferrugineux tropical sableux. Recherche de systèmes de culture intensifs et durables en région soudanienne du Nord-Cameroun. Cah. Orstom Pédol, 28 :309-326, 1996.
- [37] BOUDJEMLINE D. Susceptibilité au ruissellement et aux transports solides de sols à texture contrastée, étude expérimentale au champ sous pluie simulée (Lauragais et Mont-Lozère). Thèse de doctorat 3ème cycle, Université d'Orléans, 1987.
- [38] OSBURN H.B., RENARD K.G. Thunderstorm runoff on the Wlanut Gulch expérimental watershed,, Arizona, USA. IAHS Publication 97:455-464; 1973.
- [39] ALBERGEL J., Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso, du m² au Km² étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse de doctorat sc. Nat. Université Paris V; 1987.
- [40] BARTHÈS B., DE NONI G., ALBRECHT A., ASSELINE J., VIENNOT M., GALIBERT A., ROOSE E. Travail du sol, apports organiques et érodibilité des sols de coteaux profonds dans les Rougiers de Camarès. Gestion Technique Innovation, 1997.
- [41] WISCHMEIER W.H.; SMITH D.D. Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning. Édit. US Department of Agriculture, Washington, vol. 537; 1978.
- [42] LAOUINA A. Recherches actuelles sur l'érosion au Maroc. Bulletin du Réseau Érosion, vol. 12: 292-299; 1992.

- [43] **MOUFFADAL K.** Les premiers résultats des parcelles de mesures des pertes en terre dans le bassin versant de Oued Nakhla dans le rif occidental. Bull Réseau Erosion; 21 : 244 -254; 2001.
- [44] **MORSLI B., HABI M.** Effet du comportement hydrodynamique des sols argileux sur les risques de ruissellement et d'érosion du sol: cas des sols des montagnes méditerranéennes de Beni-Chougrane-Algérie. Zeitschrift für Geomorphologie; Appeared or available online: 11 décembre 2014.
- [45] **ASSELIN J., VALENTIN C.** Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cahiers ORSTOM Hydrologie ; 15, 4 : 321-347 ; 1978.
- [46] **ROOSE E.** La GCES, Proposition d'une nouvelle approche de la lutte antiérosive, 1995 .
- [47] **FRITSCH J.M.** Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants. Opération ECEREX en Guyane Française. ORSTOM éditions, Coll. Etudes et Thèses, Paris, 1992.
- [48] **ROOSE E.** Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. Bull Réseau Erosion, 16 :87-97, 1996.
- [49] **DABIN B., Leneuf N.** Erosion et ruissellement en basse Côte d'Ivoire. Orstom Abidjan, 1958.
- [50] **SOLTNER D.** Les bases de la protection végétale. Tome2, 1987.
- [51] **ROOSE E.,** : Méthodes de mesure des états de surface du sol, de la rugosité et des autres caractéristiques qui peuvent aider au diagnostic de terrain des risques de ruissellement et d'érosion, en particulier sur les versants cultivés des montagnes. Bull Réseau Erosion 16: 87-97, 1996.
- [52] **HEUTSH B.** L'érosion du Pré-Rif, Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses Pré-Rif occidental. Th&se Doc-ing .Toulouse. In Annales de la recherche forestière au Maroc. Nuro spécia1, étude sur l'érosion, Rabat, 12: 9-176, 1970.
- [53] **SOLTNER D.** Les bases de la production végétale Tome II, Le climat, Collection sciences et pratiques agricoles, 1995.