

Impact de la cannabis culture sur la dégradation physico-chimique et le comportement hydrodynamique des sols dans le bassin de l'Oued Sra, (Rif Central, Maroc)

Impact of the cannabis cultivation on the physico-chemical degradation and hydrodynamic behaviour of soils in the wadi Sra Catchment, (Central Rif, Morocco)

Impacto del cultivo de cannabis sobre la degradación físico-química y el comportamiento hidrodinámico de los suelos en la cuenca del Oued Sra (Rif Central, Marruecos)

Mouhssine El-Ommal

m.elommal@gmail.com  0000-0003-3218-5604

Laboratoire Recomposition de l'espace et Développement Durable, Département de Géographie, Faculté des Lettres et des Sciences humaines, Université Chouaib Doukkali, El Jadida. Av Khalil Jabran, 27. 24000 El Jadida, Maroc.

Abdellatif Tribak

abdellatif.tribak@usmba.ac.ma  0000-0002-1564-5886

Département de Géographie, Faculté des Lettres et des Sciences Humaines Sais-Fès, Université Sidi Mohamed Ben Abdellah, Fés. B.P 59, Route Immouzer. 30000 Fès, Maroc.

Zakariae Amhani

zakariae.amhani@uit.ac.ma  0000-0002-9917-6449

Laboratoire Territoires, Environnement et Développement, Département de Géographie, Faculté des Sciences Humaines et Sociales, Université Ibn Tofail, Kénitra. B.P 401, Kenitra, Maroc.

Khalid Arari

khalid.arari@usmba.ac.ma  0000-0001-8043-0139

Département de Géographie, Faculté Pluridisciplinaire Nador, Université Mohammed Premier, Oujda. B.P 300, Selouane. 62700 Nador, Maroc.

INFO ARTÍCULO

A reçu: 16-11-2023
Revu: 19-01-2024
Acepté: 03-02-2024

MOTS CLÉS

Rif central
Cannabiculture
Dégradation des sols
États de surface
Infiltration

RESUME

Le bassin de l'Oued Sra fait partie du Rif Central au nord du Maroc ; Il constitue un milieu fragile où la dégradation des sols est spectaculaire. L'objectif du présent travail est d'étudier les impacts de la cannabis culture sur les propriétés physico-chimiques des sols, leurs caractéristiques de surface, ainsi que leurs comportements hydrodynamiques pendant différentes saisons. L'étude est basée sur les analyses des propriétés physico-chimiques des horizons superficiels du sol (0-25 cm), à partir du choix des parcelles témoins sous forêt et d'autres défrichées et mises en cannabis culture depuis 10 ans. L'état de surface des parcelles concernées a été vérifié sur terrain, selon la méthode des points quadrats. Le comportement hydrodynamique du sol et la détachabilité ont été mesurés par l'utilisation d'un mini-simulateur de pluies à rampe sur des micro-parcelles (1m²). Les résultats obtenus montrent que les sols atteignent des niveaux de dégradation très avancée, marquée par une réduction importante de la fertilité et une prédominance des états de surface nue (90 %) et fermée (71 %) sur des terrains défrichés et mis en cannabis culture. Sur ces terrains, défrichés, depuis dix ans au moins, les apports en fertilisants sont essentiellement des engrais chimiques appliqués d'une manière intensive. Les rotations qui y sont pratiquées sont de l'ordre deux fois par an en raison de la rareté des terres agricoles disponibles, de l'accroissement démographique et du gain financier assuré par la cannabis culture. De même, les tests de simulation aboutissent à des valeurs maximales d'infiltration finale



enregistrées sur les terrains de céréaliculture (67,20 mm/h); tandis que les terrains destinés à la cannabiculture enregistrent des valeurs faibles (43,12 mm/h). Par conséquent, les moyennes maximales des transports solides sont enregistrées dans les terrains de cannabiculture (98,87 g/l) par contre les terrains de céréaliculture sont marqués par de faibles valeurs (26,64 g/l).

KEYWORDS

Central Rif
Cannabiculture
Soil degradation
Surface conditions
Infiltration

ABSTRACT

The Oued Sra basin is part of the Central Rif in northern Morocco; It constitutes a fragile environment where soil degradation is spectacular. The objective of the present work is to study the impacts of cannabis cultivation on the physicochemical properties of soils, their surface characteristics, as well as their hydrodynamic behaviors during different seasons. The study is based on analyzes of the physicochemical properties of the surface horizons of the soil (0-25 cm), based on the choice of control plots under forest and other plots cleared and put into cannabis cultivation for 10 yrs. The surface condition of the plots concerned was verified in the field, using the quadrat point method. The hydrodynamic behavior of the soil and detachability were measured using a mini-ramp rain simulator on micro-plots (1m²). The obtained results show that the soils reach very advanced levels of degradation; marked by a significant reduction in fertility and a predominance of bare (90%) and closed (71%) surface states on cleared land used for cannabis cultivation. On these lands, cleared for at least ten years, fertilizers inputs are mainly chemical fertilizers applied intensively. The rotations practiced are twice a year, due to the scarcity of available agricultural land, population growth and the financial gain brought by cannabis cultivation. Likewise, the simulation tests result in maximum final infiltration values recorded on cereal growing land (67.20 mm/h); while land intended for cannabis cultivation recorded low values (43.12 mm/h). Consequently, the maximum averages of solid transport are recorded in the cannabis growing lands (98.87 g/l) but the cereal growing lands are marked by low values (26.64 g/l).

PALABRAS CLAVE

Rif Central
Cannabicultura
Degradación del suelo
Condiciones de la superficie
Infiltración

RESUMEN

La cuenca del Oued Sra forma parte del Rif Central en el norte de Marruecos; constituye un entorno frágil donde la degradación del suelo es espectacular. El objetivo del presente trabajo es estudiar los impactos del cultivo de cannabis en las propiedades fisicoquímicas de los suelos, sus características superficiales, así como sus comportamientos hidrodinámicos durante las diferentes estaciones. El estudio se basa en análisis de las propiedades fisicoquímicas de los horizontes superficiales del suelo (0-25 cm), a partir de la elección de parcelas de control bajo bosque y otras despejadas y dedicadas al cultivo de cannabis durante 10 años. El estado de la superficie de las parcelas en cuestión se verificó en el campo, utilizando el método del punto cuadrado. El comportamiento hidrodinámico del suelo se midió mediante un simulador de lluvia con mini rampa en microparcelas (1m²). Los resultados obtenidos muestran que los suelos alcanzan niveles de degradación muy avanzados; marcado por una reducción significativa de la fertilidad y un predominio de estados de superficie desnuda (90%) y cerrada (71%) en tierras despejadas y utilizadas para el cultivo de cannabis. En estas tierras taladas durante al menos diez años, los aportes de fertilizantes son principalmente químicos aplicados de forma intensiva. Las rotaciones que se practican allí son del orden de dos veces al año debido a la escasez de tierras agrícolas disponibles, el crecimiento demográfico y las ganancias económicas que aporta el cultivo de cannabis. Asimismo, los ensayos de simulación arrojan valores máximos de infiltración final registrados en terrenos cerealistas (67,20 mm/h); mientras que las tierras destinadas al cultivo de cannabis registraron valores bajos (43,12 mm/h). En consecuencia, los promedios máximos de transporte sólido se registran en las tierras de cultivo de cannabis (98,87 g/l) pero las tierras de cultivo de cereales se marcan con valores bajos (26,64 g/l).

1. INTRODUCTION

La dégradation des sols est un problème écologique mondial affectant les terres arables du monde (Karlen *et al.*, 2003; IPBES, 2018) et l'un des problèmes environnementaux les plus graves au monde (Borrelli *et al.*, 2017; Butzer, 2005; Garcia-Ruiz *et al.*, 2015; Lal, 2003; Montanarella *et al.*, 2016; Nasir *et al.*, 2020). L'érosion réduit la productivité des sols et des écosystèmes naturels, y compris les écosystèmes



agricoles et forestiers (Pimentel & Kounang, 1998) et accélère la dégradation des terres et altère les ressources paysagères liées au sol (Borrelli *et al.*, 2017; Gogoi *et al.*, 2021; Zhao *et al.*, 2018). Au Maroc, la dégradation des sols constitue l'un des problèmes socio-économiques environnementaux les plus cruciaux. Notamment, la région du Rif, qui reste la plus touchée (Sadiki, 2005 ; Roose *et al.*, 2012; Amhani *et al.*, 2021 ; Tribak *et al.*, 2012; Tribak *et al.*, 2021; El-Ommal *et al.*, 2021; Abahrour 2009; El Mazi *et al.*, 2022). En effet, les montagnes du Rif aux terrains accidentés subissent de fortes pressions humaines permanentes sur les ressources naturelles ayant pour conséquences une instabilité des milieux et une production excessive des sédiments. L'une des pressions majeures exercées sur les ressources forestières et des sols de nos jours est issue des besoins en terres agricoles pour cultiver le *Cannabis* (Chouvy, 2020; Benabid, 2000). Elle se traduit par une éradication avancée et complexe de la végétation naturelle sur la quasi-totalité des versants qui reçoivent de plein fouet l'impact des événements météorologiques.

Dans le Rif central, la quasi-totalité des forêts qui font la spécificité de la région ont été défrichées et mises en culture illicite du *cannabis* souvent incompatible avec les conditions du milieu physique. Le défrichement pour la culture du *cannabis* représente près de 90 % du processus de déforestation. A titre indicatif, signalons que plus de 20 000 ha ont disparus dans la seule zone de Ketama en 20 ans (Grovel, 1996). Les terrains défrichés subissent une forte érosion qui contribue aussi respectivement à la diminution de la matière organique et des stocks de carbone organique du sol, tout en augmentant la densité apparente des sols et leur détachabilité (Grovel, 1996 ; Benabid, 2000; El Mazi *et al.*, 2022).

La zone Nord du Maroc a fait l'objet de plusieurs études sur les liens entre la cannabiculture et la dégradation des sols au cours des dernières décennies. Les résultats obtenus confirment la modification des états de surface et la perméabilité ainsi qu'une augmentation considérable du risque de ruissellement et d'érosion hydrique (Sabir & Roose, 2004; Laouina *et al.*, 1993; Bahada *et al.*, 2001; Lebbar, 2001; Belmeki *et al.*, 2014; El Mazi *et al.*, 2019; El-Ommal & Tribak, 2023). Néanmoins, dans le Rif central les impacts de la cannabiculture sur les caractéristiques de surface du sol et l'augmentation des taux de ruissellement demeurent peu documentés et loin d'être rigoureusement évalués malgré leurs effets néfastes sur les milieux. L'objectif du présent travail, consiste en la mise en évidence des impacts de la cannabiculture sur la dégradation des propriétés physico-chimiques des sols, la modification de leurs états des surfaces et la production de l'érosion.

2. UN MILIEU FRAGILE SUJET A UNE FORTE PRESSION ANTHROPIQUE

D'une superficie de 553 km², le bassin de l'Oued Sra fait partie du Rif Central au nord du Maroc (figure 1). Il constitue un milieu fragile où la topographie est très accidentée au sein d'un relief dont les altitudes varient de 255 m à l'exutoire à 2456 m au point culminant dans la chaîne de la montagne rifaine (Jbel.Tidghin). Les pentes raides dominent ; celles qui dépassent 25 % occupent 55,52 % de la superficie du bassin. De point de vue géologique, la zone présente une diversité importante en termes de substrat avec la dominance des matériaux tendres et fragiles sensible à l'érosion. L'amont du bassin est occupé par l'alternance des séries à la fois marno-schisteuses, et schisteuses admettant des bancs de grès quartzitiques (Maurer, 1968) ; tandis que, la partie aval est dominée par des formations marneuses très tendres du Miocène supérieur qui occupent les bassins intra-montagneux (Michard, 1976). Les grands types de sols appartiennent à des classes de sols minéraux bruts d'érosion et des sols peu évolués d'érosion par ailleurs, le reste de surface est occupé par des sols brunifiés (12,82%), des fersiallitiques (13,02%), des vertisols (9,49%) sur des formations marneuses dans la partie aval du bassin, ainsi que des sols peu évolués d'apport alluvial se développent sur les terrasses et les fonds de vallées. Les précipitations s'y caractérisent par leurs abondances et leur irrégularité spatio-temporelle. Les moyennes annuelles varient de 495 mm en aval (station de Ain Aicha) à 1570 mm en amont du bassin (station de Ketama). Les pluies journalières brutales et concentrées donnent des hauteurs maximales journalières sous formes orageuses de fortes intensités. Des exemples très démonstratifs peuvent être cités: 181 mm à Taghzout le 29 novembre 2010 (57,09% du module mensuel) et 137mm le 23 décembre 2009 (25,09% du module mensuel).

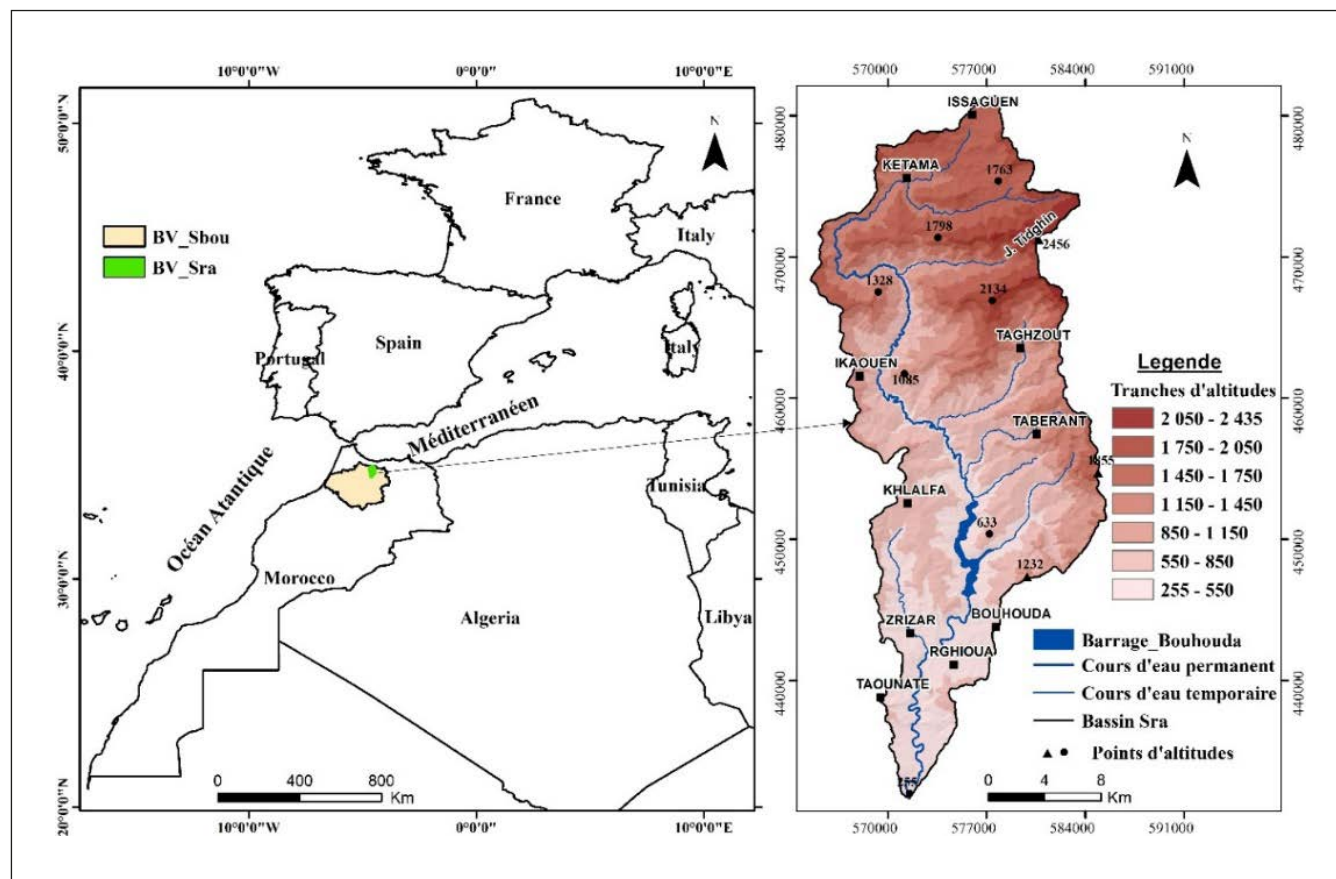


Figure 1. Localisation géographique et hypsométrie du bassin de l'oued Sra. Source: élaboration propre.

Les densités humaines dans la région sont parmi les plus élevées du Maroc. Elles dépassent le seuil de 200 h/km² en 2014 avec un record de 220 h/km² dans certaines communes en comparaison avec la moyenne nationale qui est de 76,61 h/km². Ces fortes densités s'expliquent pour une bonne part par l'extension par la culture du *cannabis* qui contribue largement à la fixation des populations (Chouvy, 2020). La région de Ketama qui fait partie de l'amont du bassin versant de l'Oued Sra, se considère parmi les zones classiques où le *cannabis* est cultivé depuis longtemps (Boudouah, 1985; Grovel, 1996; Taiqui, 1997; Lazar, 2004; Chouvy, 2008). Quoique à un niveau limité, après les années Soixante-dix le *cannabis* s'étendit vers les zones sud du bassin, notamment les communes de Taghzout et de Taberant, et vers la commune de Bouhouda et Khelalfa et Zrizar dans les années 107 2000. Cette extension pourrait être expliquée par la valeur économique très élevée du *cannabis* qui dépasse largement celle d'autres activités. Ses revenus d'environ 2000 kg/ha sont «20 à 30 fois supérieurs à ceux d'une bonne récolte d'orge ou le double de la somme moyenne transférée dans l'année par un émigré en Europe» (Maurer, 1992). En revanche, la rareté des terres à vocation agricoles qui caractérise la région, induit l'apparition des ménages sans terres et renforce la pression s'exerçant au détriment du couvert forestier dans des zones à fortes pentes qui sont totalement dénudées et mises en culture.

Cette région jadis, Rif riche en ressources forestières et en espèces très variées (Fay, 1979) montre, aujourd'hui, des aspects sérieux et des indicateurs réels de dégradation de l'environnement en raison de l'ampleur des changements affectant l'utilisation des sols. En effet, la quasi-totalité des forêts qui font la spécificité de la région du Rif Central ont été défrichées, sous l'influence des actions anthropiques et la mise en culture illicite de nouvelles variétés de plantes du *cannabis* (variétés hybrides) les plus rentables. L'occupation actuelle des sols pour la période de 1986-2020, montre très clairement une modification désordonnée du paysage avec une régression considérable des terrains forestiers de 42,09% de la superficie totale du bassin en 1986 à 16,44% en 2020 (figure 2; figure 3).

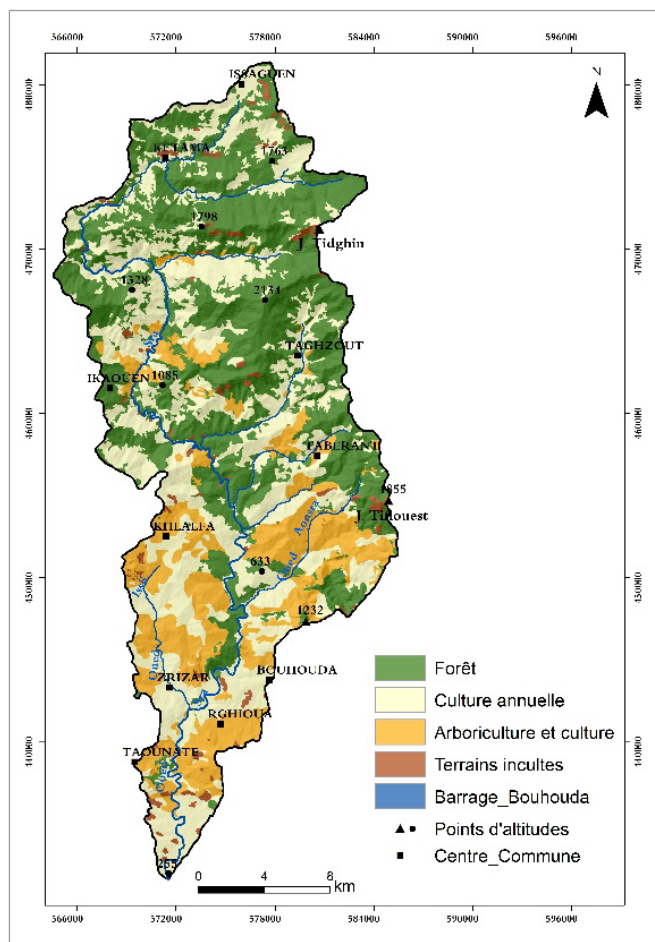


Figure 2. Carte d'occupation des sols / année 1986 - dans le bassin de l'Oued Sra

Source: <https://earthexplorer.usgs.gov> - LandSat -resolution 30 m. Élaboration propre.

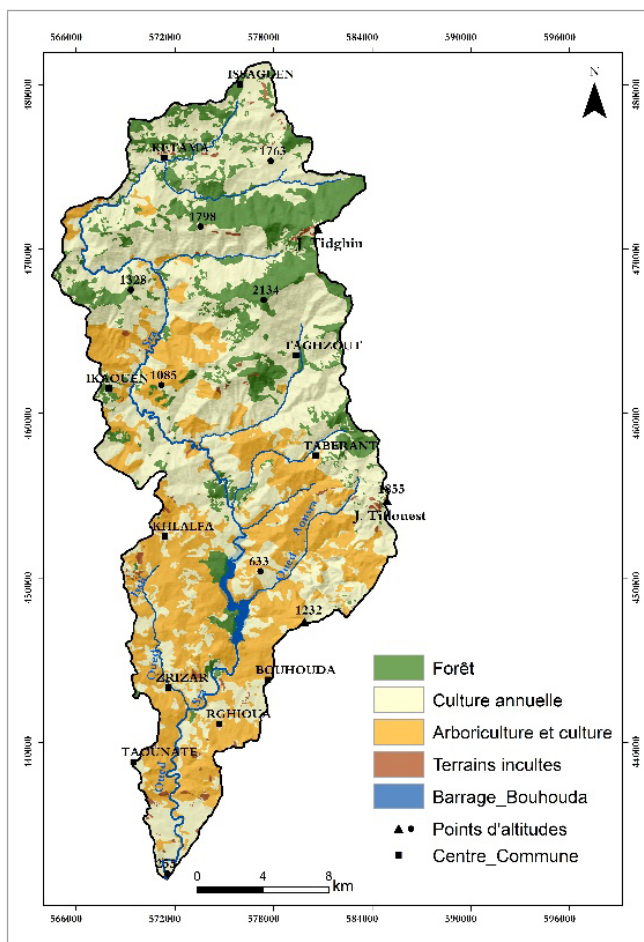


Figure 3. Carte d'occupation des sols / année 2020 - dans le bassin de l'Oued Sra

De manière générale les terrains récemment défrichés sont destinés à la culture du *cannabis*. La culture du cannabis se base en même temps sur les eaux pluviales et l'irrigation qui a connu une transformation alarmante. En effet, jusqu'à l'année 2010, elle était limitée dans les fonds de vallées et près des sources, occupant de faibles superficies, pratiquées d'une manière traditionnelle basée sur les seguias et le partage des eaux collectifs. Actuellement l'irrigation connaît un grand essor suite aux développements des infrastructures dans la région (Pistes vers les douars, généralisation d'électricité), qui facilitent l'accès des grandes machines destinées aux constructions de bassins de stockage des eaux et de forage des puits. Face à cette situation, l'irrigation du cannabis par des techniques modernes est devenu un phénomène marquant et quasi-généralisé pendant la dernière décennie même dans des versants pentus (photo-1). Les apports en fertilisants appliqués chaque année sont des engrais chimiques utilisés d'une manière intensive. Ainsi, l'espace agricole, dans l'ensemble de la région, déborde largement au-delà des champs permanents –fonds des vallées– sur des terrains accidentés où des cultures s'accrochent sur les sols les plus pauvres et les pentes les plus déclives. La surexploitation des terrains défrichés, alimentée par une population en forte progression démographique, contribue à l'accélération de dégradation du sol dans ce milieu fragile.

3. MATERIELS ET METHODES

3.1. Échantillonnages et analyses physico-chimiques des sols

Les analyses physicochimiques du sol relèvent parmi les méthodes qui ont été mises au point pour évaluer l'état de dégradation des sols dans le monde, (Bedano *et al.*, 2011; Juhos *et al.*, 2016). En effet,



deux prélèvements du sol ont été effectués dans la couche 0-25 cm dans les sols brunifiés sur deux sites adjacents, afin de déterminer les processus de la perte de fertilité des sols et la dégradation de la texture par les analyses physico-chimiques du sol. Le premier prélèvement concerne une parcelle témoin sous forêt (état référence). Le deuxième a été fait dans une parcelle défrichée et mise en culture par la cannabiculture depuis 10 ans. Parmi les tests effectués : L'analyse chimique, concerne la matière organique par la méthode de Walkley et Blak, le Phosphore est déterminé par l'extraction au bicarbonate de sodium. Par ailleurs, la texture (sables, limons, argiles %) est déterminée par la méthode internationale avec l'emploi de la Pipette Robinson. L'ensemble des analyses ont été effectuées au sein de l'Ecole Nationale d'Agriculture à Meknès (ENA).

3.2. Etude de caractéristiques de surface et le comportement hydrodynamique du sol

3.2.1. Le choix des sites expérimentaux

Notre objectif aussi est d'étudier les effets de la cannabiculture sur les indicateurs de risque de ruissellement et d'érosion selon les saisons, à savoir : L'évolution de l'état de surfaces et la densité apparente (Da g/cm³), la porosité et l'indice de la rugosité (Ir), ainsi que, la dynamique de l'infiltration/ruissellement et la détachabilité. Pour cela nous avons choisi des sites expérimentaux sur des micro-parcelles (1m²). Deux parcelles labourées ont été choisies ; elles sont destinées respectivement à la cannabiculture et la céréaliculture. Le choix de cette dernière nous a permis de voir et de comparer les effets de type de culture après le sur la dynamique de ces indicateurs et leur contribution au risque d'érosion hydrique.

3.2.2. Mesure des états de surfaces

Les états des surfaces à l'intérieur des parcelles (1m²) concernées ont été vérifiées et enregistrées sur le terrain dans différentes saisons pour chaque parcelle par la méthode de points quadrats décrits par Roose (1996). Il s'agit de déterminer par deux transects en diagonale à l'intérieur de la parcelle à chaque 10 cm les taux de l'état de surface trouvées ; surfaces couvertes concernent (adventices, litière et cailloux) ou nues et de surfaces fermées englobent (pellicule et croûte de battance, surfaces tassées et cailloux inclus dans le sol) ou ouvertes (fentes de retrait, mottes et flaques). Ainsi, la somme des surfaces couvertes et nues est égale à 100% ; de même, la somme des surfaces fermées et ouvertes est égale à 100%.

3.2.3. Mesure de la densité apparente et la porosité

Avant chaque démarrage de la simulation de pluie un échantillon de sol a été prélevé pour toutes les parcelles et chaque saison, par un cylindre. Cet échantillon a été pesé et laissé à l'étuve à 105°C pendant 24 heures pour évaluer les taux du poids de l'eau par rapport au poids du sol sec. La connaissance de ces deux variables permet de calculer la densité apparente selon la relation suivante :

$$Da \text{ (g/cm}^3\text{)} = \left(\frac{ms}{V} \right) \quad (1)$$

Où **Da** : densité apparente/ **ms** : le volume de l'échantillon séché / **V** : le volume de cylindre (269,3 cm³);
La porosité (%) : Elle se base sur les résultats de la densité apparente, selon l'équation suivante :

$$P\% = 100\% - \left(\left(\frac{Da}{Dr} \right) 100 \right) \quad (2)$$

Où **P** : porosité / **Da** : densité apparente/ **Dr** : densité réelle du sol (2.65 g cm³).



3.2.4. L'indice de la rugosité (Ir %)

L'indice de la rugosité (Ir %) aussi a été déterminé, par la méthode de la chaînette métallique (Roose, 1996). Trois répétitions sont mesurées avant chaque simulation pour chaque parcelle sans briser la rugosité du sol qui contrôle profondément l'infiltrabilité et la détachabilité.

3.3. Etude comparative du comportement hydrodynamique du sol

L'étude du comportement hydrodynamique du sol dans ce travail est basée sur l'utilisation d'un mini-simulateur de pluie à rampe (un simple irrigateur manuel). Elle permet d'obtenir sur le terrain, de façon expérimentale dans un temps relativement court, de nombreuses données mesurées sur le comportement hydrologique du sol sous des averses artificielles effectuées et contrôlées, et de tester la détachabilité de la surface d'un sol (Morsli, 2012; Meddi *et al.*, 2005; Roose & Smolikowski, 1997). Ce dispositif expérimental constitue une parcelle délimitée artificiellement par un cadre métallique d'un mètre carré de forme rectangulaire de 60 cm x 166 cm (1 m²) enfoncé dans le sol pour concentrer l'eau et le ruissellement dans la parcelle concernée, et munie au bas d'une parcelle par une cuve réceptrice des eaux de ruissellement. Il comporte aussi une rampe d'arrosage de 50 cm de large avec une ligne de trous de 0,5 mm de diamètre distants de 1 cm, relié par un arrosoir conventionnel de dix litres. Des pluies simulées de 50 mm de hauteur et des intensités de 80 mm/h pendant 35 à 50 min pour chaque test. Les tests de simulation ont été faits dans chaque saison, donc quatre tests sont effectués pour chaque parcelle. Ce choix a été dicté d'une part, par la variabilité qu'elle caractérise les pratiques culturales et l'évolution rapide des états de surface d'une saison à l'autre et d'autre part, pour évaluer les périodes à risque de ruissellement et d'érosion hydrique.

4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Impact de la cannabiculture sur les propriétés physico-chimiques

L'analyse granulométrique montre bien que les deux parcelles ont enregistré des taux élevés de sable, du fait de la nature du sol sur substrat schisteux riche en sable d'une manière générale. Mais la comparaison fait ressortir que la texture des sols marque un changement remarquable (tableau 1). La parcelle témoin sous forêt a enregistré 49,86% de sable et 45,12% de limon, par contre celle défrichée suivie de cannabiculture pendant 10 ans présente une forte proportion de sables (80,45%) et une très faible proportion de limons (10,22%). Ce qui indique d'une part que le défrichement forestier a des impacts néfastes sur les horizons superficiels du sol se traduisant par une forte détachabilité qui touche la texture et notamment les particules fines par les processus érosifs. De même, ces résultats mettent en lumière les effets des pratiques culturales liées à l'utilisation de nouvelles variétés du *cannabis* sur les propriétés physico-chimiques des sols entraînant souvent leur appauvrissement en éléments fins et une baisse de leur fertilité.

En effet, les analyses chimiques des horizons superficielles des sols montrent clairement une réduction de fertilité du sol après le défrichement forestier. La comparaison entre la parcelle témoin –sous forêt– et d'autre défrichée suivie de la cannabiculture fait ressortir que le défrichement, suivi d'une mise en culture en *cannabis*, contribue largement à la réduction de fertilité du sol. A titre d'exemple, la valeur la plus élevée de la matière organique a enregistrée sous la parcelle témoin (3,64%), contre une faible valeur de (3,01%) sous la parcelle défrichée suivie de la cannabiculture. De même, Le Carbone organique montre des valeurs respectives de 2,11% et 1,74% pour les deux parcelles. Il est important de mentionner que le Phosphore assimilable et le Potassium ont enregistrées une concentration après le défrichement. Ce constat peut s'expliquer par l'importance d'utilisation des engrais par la population locale dont l'objectif d'augmenter le rendement du *cannabis*, car, la majorité des sols sont plus superficiels et moins fertiles nécessitant davantage d'engrais (tableau 1).



Ce processus de perte de fertilité dans la zone d'étude, s'aggrave plus, sachant que, certaines pratiques culturales et les méthodes de gestion de la fertilité, à savoir, travail de la terre, la rotation de culture, la gestion de la biomasse et les résidus de culture, ont connu une régression dans la région, en raison des gains bruts annuels du *cannabis* par hectare qui sont plus élevés par rapport à d'autres activités, encourageant de plus en plus à cultiver le *cannabis* au détriment des forêts et par la suite, l'exploitation abusive des sols jusqu'à deux fois par an. La particularité de la cannabisiculture dans le bassin est évidente dans le fait qu'elle a contribué à changer les liens entre la population et les ressources en sols. En effet, la zone d'étude est bien connue depuis longtemps par son type de *cannabis* locale de ketama, pratiqué d'une manière traditionnelle sous les eaux de pluie.

Cependant, au cours de la dernière décennie, la population a adoptée de nouvelles variétés des plantes du *cannabis* (variétés hybrides) à hauts rendements (photo-1). Ces rendements encouragent de plus en plus les agriculteurs de pratiquer massivement les nouvelles plantes et la surexploitation du sol. La maturité de ces nouvelles plantes qui durent jusqu'en début septembre voire mi-octobre- nécessitent l'irrigation. Face à cette situation, l'irrigation du *cannabis* par des techniques modernes est devenu un phénomène marquant et quasi-généralisé par les agriculteurs, par le développement de plusieurs techniques, à savoir ; irrigation par pompe à moteur, système de pompage de l'eau à énergie solaire, pompe à eau électrique, creusement des puits, construction de plusieurs bassins de stockage des eaux et l'utilisation les citernes de 1 m³ à 4 m³. Ces techniques adoptées ; de plus en plus dans la région, jouent un rôle important dans l'extension des aires cultivées destinées à la cannabisiculture, ayant des effets néfastes sur les sols qui sont abusivement exploités.

Tableau 1. Comparaison des propriétés physico-chimiques du sol de la parcelle témoin –sous forêt– et défrichée depuis 10 ans.

Horizons (cm)	Etat de la parcelle	Granulométrie (%)			MO%	Carbone organique %	Phosphore (mg/kg P ₂ O ₅)	Potassium (mg/kg K ₂ O)
		Sable	Limon	Argile				
0-25	Forêt	49.86	45.12	5.02	3.64	2,11	5	102
0-25	Parcelle défrichée	80.45	10.22	9.33	3.01	1,74	7	379

Source: analyses effectuées à l'école national d'agriculture Meknès-Maroc. Élaboration propre.

Ces résultats nous ont permis de constater, d'une manière générale, que le défrichement forestier suivie de la cannabisiculture a de néfastes impacts sur la dégradation des sols dans le Rif Central. Ils sont similaires à ceux trouvés par plusieurs chercheurs dans le Rif qui ont travaillé sur les impacts de défrichement forestier sur la dégradation des propriétés chimiques et physiques des horizons superficiels des sols. Dans le Rif Occidental une étude concernant la fertilité du sol selon l'occupation du sol dans les 30 cm supérieurs des profils, montre que la matière organique atteint 4,7% sous forêt et chute à 2,1% sous cannabisiculture (Sabir et al, 2004). Dans le Rif Central (Jbel Ouedka), la matière organique passe respectivement de 4,9% sous forêt, à 2% seulement au cours des années qui suivent le défrichement et la mise en culture du *cannabis* (El Mazi et al., 2019). Dans le bassin versant de l'Oued Awlai (Rif Central) sur 15 ans, la déforestation et la culture du *Cannabis* qui a suivi a entraîné une diminution de la matière organique de 3,63 à 1,76%, ainsi qu'une diminution du Carbone organique de 2,11 à 0,80% (Hmamouchi et al., 2021). De même, (Celik, 2005) dans la région méditerranéenne du sud de la Turquie (les montagnes centrales du Taurus) a observé que, par rapport des sols forestières la matière organique des sols cultivés a diminué de 44 et 48% pour la couche de 0 à 10 cm et de 48 et 50% pour la couche de 10 à 20 cm sur 12 ans. Par ailleurs, de nombreux auteurs ont remarqué que la décroissance rapide de la fertilité du sol, notamment la matière organique constitue un indice de dégradation du sol et entraîne une dégradation des autres caractéristiques physiques liées à la matière organique à savoir ; la stabilité structurale, la stabilité des macro-agrégats, tassement et durcissement de surface du sol et l'augmentation de la densité apparente, et par la suite sur la réduction des taux d'infiltrabilité et l'augmentation de la détachabilité (Roose, 1985; Le Bissonnais, 1996; Mrabet et al., 2001; Sabir & Roose, 2004; Chenu et al., 2000; Abahrour, 2009; Belmeki et al., 2014).



4.2. Impact de la cannabiculture sur les caractéristiques de surface et la densité apparente des sols

Les résultats obtenus sur les caractéristiques de surface du sol montrent une fluctuation apparente entre les terrains de cannabiculture et celle destinée à la céréaliculture ; cette dernière présente la plus forte proportion des taux de surface couverte (80%) notamment pendant la saison d’hiver et du printemps par le développement des adventices, litière, les résidus de récoltes et le mulch dans la saison d’été. En revanche, la cannabiculture se caractérise par la prédominance des états de surface nus presque tout l’année agricole par des valeurs dépassant 89% (figure 4; figure 5). Ces résultats vont dans le même sens que ceux obtenus dans le Rif Occidental par (Sabir & Roose, 2004) qui ont comparé les états de surface du sol selon l’occupation ; ils montrent que les terrains de céréaliculture présentent des taux des surfaces nues plus élevés de l’ordre de 57%, par contre celles destinées à la cannabiculture ne présentent que 32,7%.

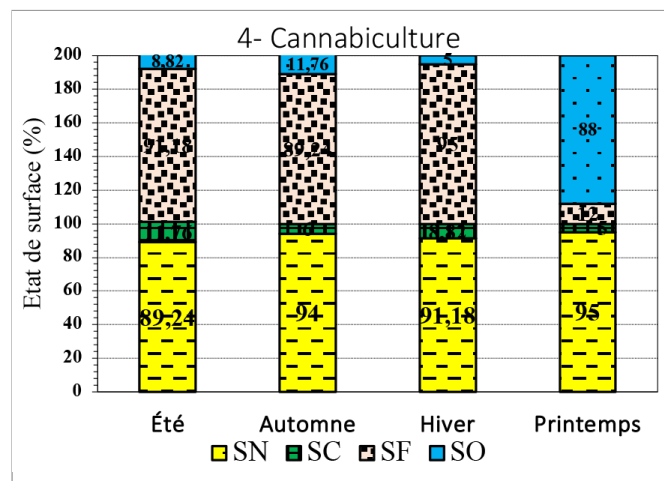
La dominance des états de surface nue dans les terres destinées à la cannabiculture ; dépend essentiellement du buttage et désherbage qui sont accomplis durant le mois d’avril et de mai. Il est important de rappeler que, la mise en pratique des plantes du *cannabis* sont largement espacées les unes des autres, comme objectif de l’aération et d’avoir un rendement plus élevé. De plus, les plantes du *cannabis* se caractérisent par un faible feuillage. Par la suite, la récolte de ce type de culture en août se prolonge jusqu’à octobre, ne laisse pas des résidus, du fait qu’après la récolte du *cannabis*, les plantes sont portées hors des parcelles, pour découper les feuilles parasites, afin de sécher les plantes. Les effets de la cannabiculture sur les états de surface du sol sont aussi aggravés au regard de la récolte des plantes du *cannabis*, qui se fait largement dans la plupart des parcelles par un prélèvement complet englobant aussi les racines, ce qui laisse l’état de surface nue, et la perte des racines, résidus et des mulchs qui ont un rôle primordial dans le renforcement des états de surface couverte et la réduction de détachement des particules du sol, voire l’enrichissement en matière organique ultérieurement. Ces procédures qui sont pratiquées pendant une bonne partie de l’année –du semis à la récolte–, ainsi que l’extension considérable de la cannabiculture au cours des dernières décennies vers des pentes pentues, peuvent contribuer à augmenter les taux de surface nue et par la suite, les taux d’érosion hydrique.

Le taux des états de surface fermées réduisant l’infiltration et favorisant largement le ruissellement, a été enregistrée dans les terrains de cannabiculture avec des valeurs dépassant 80%, du fait des passages successifs et cumulés des agriculteurs dans les parcelles au fil de l’année, favorables au tassement des horizons superficielles des sols (figure 4). En effet, ce phénomène est très courant dans la zone d’étude au cours du printemps dans le but de purifier des herbes, ainsi que pendant les périodes d’irrigation du *cannabis* par aspiration et goutte à goutte dans la saison d’été et pendant la période de la récolte (photo 1). Ce qui contribue à la dégradation de la rugosité et favorise par la suite, un tassement de la surface du sol et une perturbation du volume poral (tableau 2). Ce dernier confirme les résultats de la densité apparente qui présente 1,37 g/m³; valeur qui signifie un durcissement superficiel du sol, entraînant une diminution de la porosité du sol, et par la suite, une réduction des taux de la pluie d’imbibition qui a enregistré des valeurs très faibles (moins de 3 mm/h) au profit du ruissellement. Ce constat met en évidence les effets de la cannabiculture sur les surfaces des sols. Dans le Rif Occidental (Sabir & Roose, 2004) ont observé que la porosité du sol dans les terrains du *cannabis* ne dépasse pas 53% par rapport aux terrains de céréaliculture qui peuvent occuper jusqu’à 63.7%. De même, Le tassement de sols sur des terrains marneux du Préfif Oriental, lié au passage répété des troupeaux provoque une diminution de l’infiltration à la surface du sol tout en augmentant les risques de ruissellement et de ravinement (Tribak, 2000).

Tableau 2. Indice de la rugosité et la densité apparente.

Les saisons	Terrains Labourés (Cannabiculture)				Terrains Labourés (céréaliculture)			
	Hi %	Ir%	Da g/cm ³	Pi (mm/h)	Hi %	Ir%	Da g/cm ³	Pi (mm/h)
Automne	3,38	3	1.37	2,67	5,11	7.33	1.11	5,47
Hiver	12,77	2.77	1.24	1,47	12,53	8.56	1.13	4,53
Printemps	6,50	15.33	1.02	8,87	10,42	9.66	1.08	5,32
Eté	4,14	2.5	1.20	2,04	2,14	6.33	1.10	7,44

Pi : Pluie d’imbibition ; Hi % : Humidité préalable du sol ; Ir : Indice de rugosité ; Da : Densité apparente (g/cm³).
Source: élaboration propre.



SN : surface nu (%) ; SC : surface couverte (%) ; SF : surface fermée (%) ; SO : surface ouverte (%).

Figure 4. Évolution des états de surfaces au cours de l'année agricole dans la Cannabiculture. Source: élaboration propre.

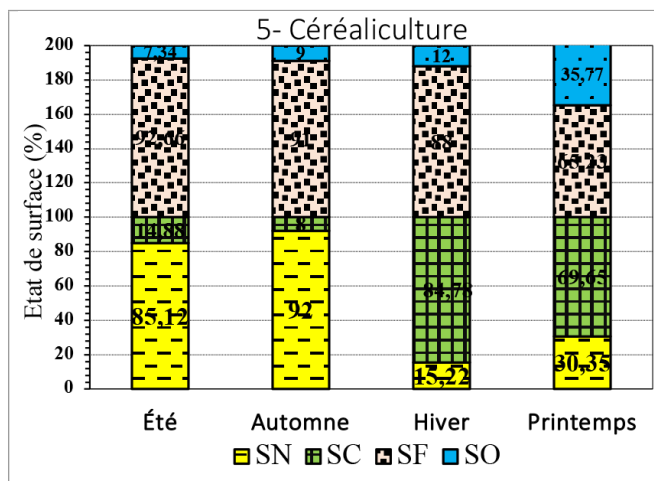


Figure 5. Évolution des états de surfaces au cours de l'année agricole dans la Céréaliculture. Source: élaboration propre.



A : Arbre isolé de Cédraie. **B :** plante du cannabis. **C :** Tuyau goutte à goutte. **D :** surface nue et tassement du sol
Photo 1. Durcissement superficiel du sol due au passage fréquent des agriculteurs dans la parcelle irriguée destinée à la cannabiculture. Source: auteurs, Cliché le 10-juillet 2017.

4.3. Infiltration et ruissellement : comparaison entre cannabiculture et céréaliculture

Les tests de simulation des pluies effectués, sur des parcelles expérimentales, pour mettre en évidence les indicateurs des risques de ruissellement, nous ont permis de faire une comparaison entre les terrains de cannabiculture et les terrains destinés à la céréaliculture (figure 6). De manière générale, les valeurs de l'infiltration finale les plus élevées sont enregistrées dans les terrains consacrés à la céréaliculture au cours de l'année entre (40 et 67 mm/h). Cela reste largement lié aux états de surface qui présentent des paramètres



favorables à l'infiltration, en raison la rugosité des terrains (de 6.33 à 9.66 %) et la dominance des surfaces ouvertes avec un taux de 84.78%. Ces résultats sont comparables aux valeurs obtenues par un certain nombre d'auteurs. (Amhani, 2022; Arari, 2022) indiquent que des taux d'infiltration sont très élevés pour les parcelles de céréaliculture dans les bassins marneux du Prérif Oriental au Maroc ; variant entre 37 à 70 mm/h.

En revanche, les terrains de cannabiculture ont enregistré les valeurs les plus faibles entre (9,44 et 43,12 mm/h). Ceci, reste proportionnel aux facteurs qui caractérisent ce type de culture dans toutes les saisons favorisant la faible perméabilité du sol à savoir: la prédominance des états de surfaces nues qui dépassent 89% dans toutes les saisons, la faible rugosité des terrains dont l'indice (Ir%) présente des valeurs moins de 3% et des valeurs élevées de la densité apparente de l'ordre de (1.37 g/cm³). Cette valeur signifie un grand tassement du sol et un durcissement superficiel, ce qui limite au maximum la capacité d'infiltration et l'augmentation du coefficient de ruissellement. Ces résultats sont comparables à celles soulignées par (Sabir *et al.*, 2004) dans le Rif Occidental, qui indiquent que la valeur la plus élevée de l'infiltrabilité est enregistrée dans terrains de céréaliculture (42,7 mm/h) mais elle tombe à 32,7 mm/h dans terrains destinés à la cannabiculture. De même, en Algérie, le ruissellement maximum sur sol nu et tassé a atteint des valeurs relativement élevées : jusqu'à 56% à Tlemcen et 80% à Médéa (Morsli *et al.*, 2004).

En effet, nos résultats de mesures montrent que les terrains destinés à la cannabiculture au printemps ont enregistré une valeur de l'infiltration finale extrêmement forte, mais elle reste très limitée dans les premières averses (73,84 mm/h), due au fait que labour tardif du cannabiculture au cours de l'année agricole, qui augmente la rugosité (15,33 %) et des surfaces ouvertes (SO) qui ont atteint 88%, ainsi que, de faible valeur de la densité apparente (1,02 g/cm³). Cette situation a contribué largement à retarder le seuil de ruissellement par une valeur de la pluie d'imbibition très élevée (plus de 8 mm/h), et par la suite, l'infiltration dans les premières averses qui est de 73.84 mm/h (figure 6). Mais elle n'est pas de même rythme vers la fin des averses, puisqu'elle chute rapidement jusqu'à (43,12 mm/h), à cause de la dégradation de la rugosité du sol suite aux averses effectuées, qui transforment les mottes et flaques dues au labour à une surface homogène avec l'évolution complète des surfaces fermées par les croûtes sédimentaires et la diminution de la rugosité qui a enregistré à la fin d'expérimentation 1,43%.

L'importance du labour dans l'augmentation de la l'infiltrabilité a été observée par plusieurs chercheurs qui ont travaillé sur le comportement hydrodynamique du sol. A titre de comparaison, (Tribak, 2000; Abahrour *et al.*, 2015) dans le Prérif oriental indiquent que les taux d'infiltration restent nettement très élevés sur les terrains labourés (plus de 50 mm/h) car ils augmentent la porosité des sols, et ouvrent la surface des sols, ainsi qu'ils permettent de casser les croûtes superficielles et de renforcer la rugosité. Également, des études expérimentales en Algérie, montrent que le travail d'un sol argileux profond réduit le coefficient de ruissellement d'environ 90% (Touaïbia & Gomer, 1992). Dans le bassin du Guadalentin (Sud-Est de l'Espagne), Cerdà (1997) montre que les sols cultivés ne génèrent pas de ruissellement en raison de la macroporosité élevée. Selon Collinet & Lafforgue (1979); Roose (1996) le labour contribue largement à l'augmentation de la pluie d'imbibition et l'infiltration dans les premières averses de la simulation.

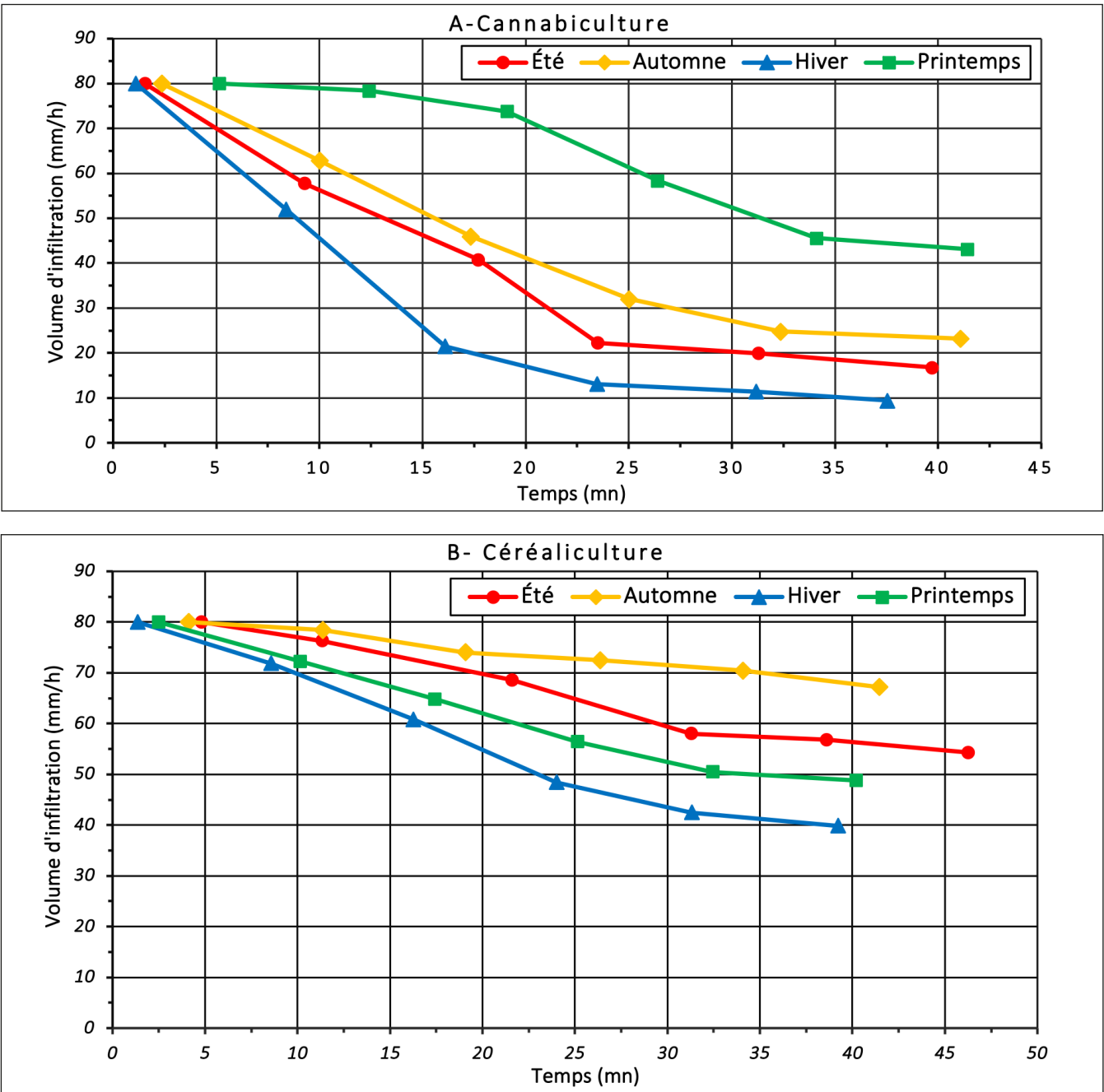


Figure 6. Évolution de l'infiltration mesurée par la simulation de pluie selon les saisons dans la parcelle de cannabiculture (A) et la parcelle de céréaliculture (B). Source: élaboration propre.

4.4. Détachabilité des particules du sol et transports solides

Les transports solides qui ont été mesurés à l'aval des parcelles montrent clairement la sensibilité des terres au risque d'érosion hydrique avec une moyenne de 62,75 g/l. Néanmoins, on assiste à une grande variabilité en fonction de type de culture pratiquée allant du 6,3 au 209,52 g/l (figure 7). Les fortes valeurs



du transport solide correspondent, du point de vue de l'utilisation du sol, à des terres consacrées à la cannabiculture (98,87 g/l) et 26,64 g/l dans les terres céréalières. Ceci amène à conclure que la cannabiculture expose les sols à la détachabilité et constitue un lieu prédilection de production excessive de sédiments. Cela peut être expliqué par la dominance des taux états de surface nues presque toute l'année (93,35%). Dans le Haut Atlas (Cheggour *et al.*, 2008) ont montré une meilleure corrélation positive entre le paramètre d'état de surface nu et le transport solide ($R^2=0.71$ %). De même, (Sabir *et al.*, 2002; Roose *et al.*, 1993), indiquent que les cultures de faible couverture de la surface du sol sont plus exposées à la dégradation.

D'après la figure (7) illustrant les pertes en sols selon les saisons, l'influence de la cannabiculture sur la dégradation des sols est bien remarquable le long de l'année et particulièrement pendant le printemps. Au cours de cette saison, malgré la prédominance des états de surfaces couvertes, qui constituent une bonne protection du sol, le transport solide reste élevé sur les terrains de la cannabiculture qui ont enregistré une valeur maximale (209,52 g/l), du fait de l'impact de la rotation agricole et les états de surface du sol ; en revanche les valeurs restent faibles dans les terrains de céréaliculture (6,3 g/l). Malgré les taux réduits du coefficient de ruissellement dans les terres de la cannabiculture, en raison de la rugosité la haute porosité dues aux labours, les pertes en sols restent très élevées. Le labour tardif du *cannabis* au cours de l'année, semé au début de mars jusqu'au mois de mai, rend les états de surface dans cette période nues, présentant un état très dégradé des structures des sols facilement transportés. L'observation sur terrain, nous a permis de constater que suite à l'arrosage qui dure jusqu'à 50 min à la fin du test de simulation, la rugosité se dégrade et contribue à l'augmentation des surfaces fermées par des côûtes sédimentaires.

En revanche, les terres consacrées à la céréaliculture se caractérisent par la présence des états de surface couvertes qui atteignent une valeur maximale de 84,78%; valeur qui signifie une bonne protection de surface du sol par un mulch résiduel de paille et des adventices et des végétaux morts ou vifs, qui jouent un rôle déterminant en matière de protection physique des sols. L'importance des surfaces couvertes dans l'amélioration de la structure et de la fertilité du sol, et l'augmentation de l'infiltration et la diminution des pertes en sols par apport à des sols nus, a été observée par plusieurs chercheurs qui ont travaillé sur le risque de l'érosion hydrique (Wischemier & Smith 1978; Roose, 1994, 1996; Nadoum *et al.*, 1995; Tribak, 2000; Mouffadal, 2001; Abahrour, 2009; Moussadak *et al.*, 2011; Roose *et al.*, 2012 ; Abahrour *et al.*, 2015; Morsli *et al.*, 2015; Aserar *et al.*, 2019 ; Abahrour *et al.*, 2015 ; La Bissonnais *et al.* 2005; Aserar *et al.*, 2019; El-Ommal *et al.*, 2021; Abahrour *et al.*, 2021). De même le rôle des résidus de culture et les mulchs dans l'augmentation de la fertilité du sol et la contribution de la stabilité structurale du sol, voire la protection physique du sol contre l'érosion hydrique est très importante (Moussadak *et al.*, 2011).

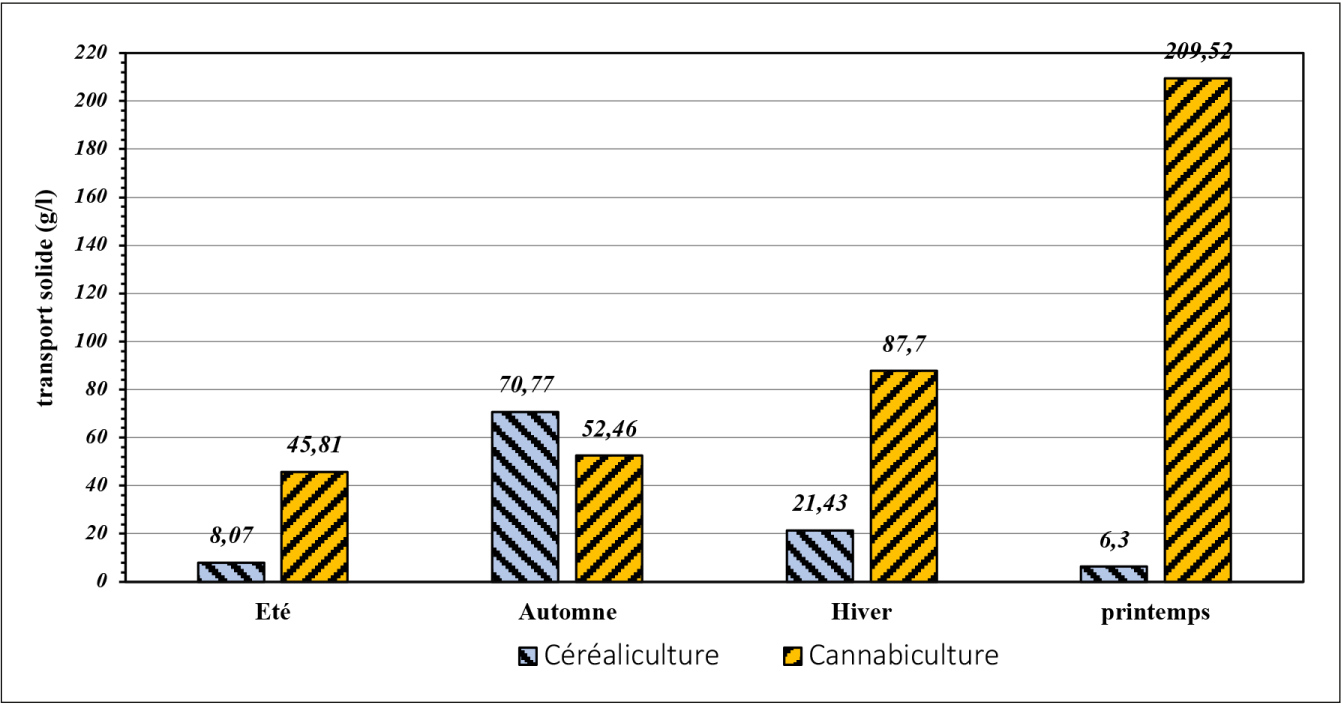


Figure 7. Volumes des pertes en sols selon les saisons en fonction de l'occupation du sol. Source: élaboration propre.



5. CONCLUSION

La dégradation des sols prend de plus en plus d'ampleur dans les montagnes du Rif Central, suite à la déforestation suivie de l'extension de la cannabis culture. Les résultats obtenus à partir des analyses physico-chimiques montrent que le défrichement exercé sur place ne reflète pas seulement la régression des aires forestières, mais entraîne ultérieurement une dégradation accentuée des sols se traduisant par notamment la réduction de leur fertilité et leur stabilité. La réduction de la fertilité du sol dans ce milieu, si l'on prend en compte la dominance des sols de type peu évolués, entraîne un abandon ultérieur des terrains de culture ; phénomène qui se traduit par l'accélération des processus érosifs et l'installation de réseaux denses d'incisions linéaires.

Par ailleurs, nous avons pu conclure, via les mesures effectuées sur terrain des caractéristiques de surfaces des sols, que les terres destinées à la cannabis culture se caractérisent par la prédominance des indicateurs de ruissellement et de risque d'érosion en raison des pratiques culturales exercées par les agriculteurs au cours de l'année agricole. La prédominance des états de surface nues presque pendant toutes les saisons ainsi que le tassement des sols du fait des passages successifs et cumulés des agriculteurs dans les parcelles au fil de l'année favorisent des coefficients très élevés de ruissellement et par conséquent d'érosion et de pertes en sols dans les terrains destinés à la cannabis culture. Les résultats concernant la détachabilité des horizons de surface des sols montrent également que, les terrains de la cannabis culture ont une forte sensibilité à l'érosion hydrique et restent, par conséquent, pourvoyeuses de sédiments menaçant la retenue du barrage de Bouhouda situé à l'aval du bassin. Ces résultats mettent en évidence le rôle des activités humaines et des modes d'occupation des sols expliquant l'accélération des phénomènes érosifs et la production des sédiments. L'extension excessive des surfaces destinées à la cannabis culture dans la région pendant les dernières décennies, en raison du gain financier, constitue un phénomène récent qui a fortement impacté la stabilité des sols et leur résistance aux phénomènes érosifs. La surexploitation des terrains forestiers défrichés, alimentée par une population en forte progression démographique, explique l'extension des cultures du *cannabis* vers des zones en fortes pentes ayant pour corollaire l'accélération du cours de l'érosion dans ce milieu fragile. De multiples parcelles, dénudées et mises en culture, sont affectées par de profondes ravines d'érosion dont l'évolution rapide permet de produire annuellement d'énormes quantités de sédiments, en l'absence d'entretien et de travaux élémentaires de protection. Cette situation alarmante de dégradation impose des interventions immédiates qui doivent se faire dans le cadre d'une politique globale d'aménagement dans la région se fixant l'objectif d'être compatible avec les conditions physiques et socio-économiques de ce milieu vulnérable.

105

Responsabilité et conflit d'intérêts

Les auteurs s'engagent à divulguer tout conflit d'intérêts existant ou potentiel en relation avec la publication du présent article. Par ailleurs, les contributions des quatre auteurs se présentent de la manière suivante: i) El-Ommal Mouhssine a assumé les tâches de collectes de données à travers les travaux de terrains et l'exploitation des documents (cartes, documents d'archives, images satellites, données chiffrées, bases statistiques, ...). ii) Il a de même assuré, en collaboration avec, Amhani Zakariae et Arari Khalid, l'élaboration des cartes et des bases de données ainsi que l'interprétation et la vérification des résultats sur le terrain. iii) Tribak Abdellatif a assuré l'orientation et l'encadrement du travail, l'analyse et l'interprétation des données, la correction du manuscrit, la validation des résultats ainsi que l'élaboration et la traduction des résumés.



REFERENCES

- Abahrour, M. (2009). *Contribution à l'évaluation quantitative de l'érosion hydrique dans le Prérif Oriental (Cas du bassin versant de l'Oued Teleta)*. (Thèse de doctorat, Université de Fès). Université de Fès.
- Abahrour, M., Tribak, A., & El Garouani, A. (2015). Dynamique du ruissellement et de l'érosion sur les terrains labourés du Prerif Oriental: cas du bassin de l'Oued Tleta. In *Acte du colloque international. Eau et Climat: Regards croisés Nord/Sud* (pp. 99-106). Publication FLSH sais-Fès, 52.
- Amhani, Z., & Tribak, A. (2021). Cartographie de l'utilisation des sols et de l'érosion hydrique dans le bassin versant de l'Oued Lahdar (Prérif oriental-Maroc): Utilisation des données de la télédétection et du modèle RUSLE. *Bollettino della Associazione Italiana di Cartografia*, 171, 4-20.
- Amhani, Z. (2022). *Contribution à l'évaluation quantitative et qualitative de l'érosion hydrique dans le Pré-Rif Oriental : cas du bassin versant de l'Oued Lahdar (Maroc)*. (Thèse de doctorat, Université de Fès). Université de Fès.
- Arari, KH. (2022). *Contribution à l'évaluation quantitative et qualitative de l'érosion hydrique dans le Pré-Rif Oriental: cas du bassin versant de l'Oued Larbaâ (Maroc)*. (Thèse de doctorat, Université de Fès). Université de Fès.
- Aserar N., Moussadak, R., & Douira, A. (2019). Étude quantitative de l'érosion hydrique des sols dans le bassin versant de Ben ahmed (Maroc Central). *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.* 7(2), 385-389.
- Bahada M., Laouina A., & Sabir, M. (2001). Extension de la culture du Cannabis et la problématique de la dégradation des ressources naturelles dans le Rif Occidental. *Rev. de Géographie du Maroc*, 24(1-2), 81-93.
- Belmekki, M., Mrabet, R., Moussadek, R., Iben Halima, O., Boughlala, M., El Gharous, M., & Bencharki, B. (2014). Impact des pratiques agricoles sur la stabilité structurale et la matière organique du sol dans les zones semi-arides Marocaines. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 4(2), 322-333.
- Benabid, A. (2000). *Flore et écosystème du Maroc: évaluation et préservation de la biodiversité*. Ibis Press.
- Borrelli, P., Robinson, D.R., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., ... Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Boudouah, M. (1985). *La culture du kif et son impact économique et social dans le Rif central. Cas de ketama*. (Thèse de doctorat, Université Toulouse II Le-Mirail- France).
- Butzer, K.W. (2005). Environmental history in the Mediterranean world: Cross-disciplinary investigation of cause-and-effect for degradation and soil erosion. *Journal of Archaeological Science*, 32(12), 1773-1800. <https://doi.org/10.1016/j.jas.2005.06.001>
- Celik I., (2005). Land-use effects on organic matter and physical properties of soil in a southern Mediterranean highland of Turkey. *Soil & Tillage Research* 83, 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.still.2004.08.001>
- Cerdà, A. (1997). The effect of patchy distribution of *Stipa tenacissima* L. on runoff and erosion. *Journal of Arid Environments* (36), 37-51. <https://doi.org/10.1006/jare.1995.0198>
- Chauvel A. (1977). *Recherches sur la transformation des sols ferrallitiques dans la zone tropicale à saisons contrastées. Evolution et réorganisation des sols rouges de moyenne Casamance*. (Thèse, Université de Strasbourg). ORSTOM.
- Cheggour A., Simonneaux V., Asma S., Yaro, Y., Sadik, E., Sabir, M., & Roose, E. (2008). Recherche d'indicateurs de ruissellement et des risques d'érosion au moyen de tests d'infiltrométrie dans le bassin versant du Rhéraya (Haut-Atlas occidental, Maroc). *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, 21(3), 311-322. <https://doi.org/10.7202/018777ar>
- Chenu C., Le Bissonais Y., & Arrouays D. (2000). Organic matter influence on clay wettability and soil aggregate stability". *Soil Science Society of America Journal*, 64(4), 1479-1486. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6441479x>
- Chouvy, P.A. (2008). *Production de cannabis et de haschich au Maroc: contexte et enjeux*. *Rev. l'espace politique*, (4), 15.
- Chouvy, P.A. (2018). Du kif au haschich: évolution de l'industrie du cannabis au Maroc". *Bulletin de l'association de géographes français*, 95(2), 308-321.
- Collinet J., & Lafforgue, A. (1979). Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sol de Haute-Volta. ORSTOM. Abidjan. 129p.
- El Mazi M, Hmamouchi M., Saber E., Bouchantouf S., & Houari H. (2022). Deforestation effects on soil properties and erosion: a case study in the central Rif, Morocco. *Eurasian Journal of Soil Science*, 11(4), 275-283. <https://doi.org/10.18393/ejss.1098600>



- El Mazi M., El-fengour M., & Houari A. (2019). L'influence du défrichement suivi de la mise en culture sur la fertilité et la stabilité d'un sol forestier fersiallitique dans le Rif Central Maroc. *Journal of Applied Science and Environmental Studies*, 2(4), 113-125.
- El-Ommal M., & Tribak, A. (2023). Hydrodynamic and Erosive Behavior of Vertisols in the Wadi Sra Catchment (Central Rif, Morocco) – Analysis of the Rainfall Simulation Results. *Journal of Ecological Engineering*, 24(5), 66–77. <https://doi.org/10.12911/22998993/161202>
- El-Ommal, M., Tribak A., Amhani, Z., Arari, K., & Abahrour, M. (2021). Ruissellement, infiltration et dynamique des états de surfaces des sols fersiallitiques du Rif central (Maroc): cas du bassin de l'Oued Sra. In *Actes du Colloque International: La Dynamique de l'Environnement et les Risques Naturels en Milieux Méditerranéens* (pp. 27-32). Oujda les 4 et 5 juin 2021.
- García-Ruiz, J. M., Beguería, S., Nadal-Romero, E., González-Hidalgo, J. C., Lana-Renault, N., & Sanjuán, Y. (2015). A meta-analysis of soil erosion rates across the world. *Geomorphology*, 239(1), 160–173. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2015.03.008>
- Gogoi, B., Borah, N., Baishya, A., Nath, D.J., Dutta, S., Das, R., Ranjan Das., Bhattacharyya D., Sharma, K., Valente D., & Petrosillo, I. (2021). Enhancing soil ecosystem services through sustainable integrated nutrient management in double rice-cropping system of North-East India. *Ecological Indicators*, 132(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108262>
- Grovel, R. (1996). La préservation des forêts du Rif centro-occidental: un enjeu de développement de la montagne rifaine. *Revue de géographie alpine*, 84(4), 75-94. <https://doi.org/10.3406/rga.1996.3887>
- HCEFLCD (Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification). (2002). *L'aménagement des bassins versants une composante incontournable de la gestion durable des ressources en eau*. Rapport et annexes.
- Heusch, B. (1970). L'érosion dans le Prérif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Prérif occidental. *Ann. Rech. Forest. Maroc*, (12), 9-176.
- IPBES (2018). *Principaux messages et chiffres du rapport de l'IPBES Dégradation et restauration des terres*.
- Karlen, D.L., Ditzler, C.A., & Andrews, S.S. (2003). Soil quality: why and how? *Geoderma*, 114(3-4), 145-156. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00039-9](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00039-9)
- Lal, R. (2003). Soil erosion and the global carbon budget. *Environment International*, 29(4), 437–450. [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00192-7](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00192-7)
- Laouina, A., Chaker, M., Naciri, R., & Nafaa, R. (1993): l'érosion anthropique en pays méditerranéens : le cas du Maroc septentrional. *Bull. Assoc. Géogr. Franc.* 1993. (5), 384-398. <https://doi.org/10.3406/bagf.1993.1707>
- Le Bissonnais, Y. (1996). Aggregate stability and assessment of crustability and erodibility: 1. Theory and methodology. *European Journal of Soil Science*, 47, 425-437. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1996.tb01843.x>
- Lebbar I. (2001). *Impact du défrichement et de la mise en culture sur la fertilité du sol : Cas particuliers de la forêt de Bab Taza*. Mémoire ENFI.
- Maurer, G. (1968). *Les Montagnes du Rif central: Etude géomorphologique*. (Thèse de Doctorat, Université de Paris). Université de Paris.
- Maurer G. (1992). Montagnes et montagnards au Maghreb (Maroc, Algérie, Tunisie). Evolution récente du milieu rural. *Cahiers d'U.B.A.M.A. 7, Tours*, 37-61.
- Mazour, M., & Roose, E. (2002). 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. *Bullettin Réseau Erosion, IRD, Montpellier (France)*, 2, 320-330.
- Meddi M., Boukhari., & Morsli, B. (2005). Etude du ruissellement et du transport solide dans les Monts de Beni-Chougrane, Algérie: utilisation de la simulation de pluie. In *Sediment Budgets 1* (pp. 21-28). Proceedings of symposium S1 held during the Seventh IAHS Scientific Assembly at Foz do Iguaçu, Brazil, April 2005. IAHS Publ.
- Meeuwing, G.O. (1970). Infiltration and soil erosion as influenced by vegetation and soil in Northern Utah. *Journal of Range Management*, 23, 185-188. <https://doi.org/10.2307/3896384>
- Michard, A. (1976). *Eléments de Géologie Marocaine. Notes et mémoires du service géologie N° 252*. Editions du service géologique du Maroc Rabat.
- Montanarella, L., Pennock, D.J., McKenzie, N., Badraoui, M., Chude, V., Baptista, I., ... & Vargas, R. (2016). World's soils are under threat. *Soil*, 2(1), 79–82. <https://doi.org/10.5194/soil-2-79-2016>
- Moreau, R. (1985). Étude sur parcelles comparatives de l'évolution des sols ferrallitiques sous différents modes de mise en culture en zones forestière et préforestière de Côte d'Ivoire. *Cah. ORSTOM, & Pédologie*, XXI(1), 43-56.



- Morsli, B., Mazour, M., Mededjel, N., Hamoudi, A., & Roose, E. (2004). Influence de l'utilisation des terres sur les risques de ruissellement et de l'érosion sur les versants semi-arides du nord-ouest de l'Algérie. *Sécheresse* (15), 96-104.
- Morsli, B., & Habi, M. (2015). *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* (pp. 355-376). Zeitschrift für Geomorphologie; Appeared or available online.
- Morsli, B., Habi, M., Mazour, M., Hamoudi, A., & Halitim, A. (2012). Erosion et ruissellement en montagnes méditerranéennes d'Algérie du Nord: analyse des facteurs conditionnels sous pluies naturelles et artificielles. *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, (1), 33-40.
- Moussadek R., Mrabet R., Zante P., Lamachere J-M., Pepin Y., Le Bissonnais Y., Ye L., Verdoodt A., & Van Ranst E. (2011). Effets du travail du sol et de la gestion des résidus sur les propriétés du sol et sur l'érosion hydrique d'un Vertisol Méditerranéen. *Rev. Canadian Journal of Soil Science*, 91(4), 627-636. <https://doi.org/10.4141/cjss10096>
- Mrabet, R., Saber, N., El-Brahli, A., Lahlou, S., & Bessam, F. (2001). Total, Particulate Organic Matter and Structural Stability of a Calcixeroll soil under different wheat rotations and tillage systems in a semiarid area of Morocco. *Soil & Tillage Research*. 57, 225-235. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(00\)00180-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(00)00180-X)
- Nadoum, K., & Bernard, C. (1995). Contrôle du ruissellement de l'érosion et des pertes de phosphore par les résidus de culture, sous pluie simulée. *Etude et Gestion des sols* 2.3, 173.-182.
- Nasir, A., Firuza, B. M., Yusmah, M. Y., & Didams, G. (2020). A systematic review of soil erosion control practices on the agricultural land in Asia. *International Soil and Water Conservation Research*, 8(2), 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2020.04.001>
- Pimentel, D., & Kounang, N. (1998). Ecology of soil erosion in ecosystems. *Ecosystems*, 1(5), 416-426. <https://doi.org/10.1007/s100219900035>
- Podwojewski, P., Janeau, J.L., & Leroux, Y. (2007). Effects of agricultural practices on the hydrodynamics of a deep hardened volcanic ash-soil (Cangahua) in Ecuador. *Catena*, 72, 179-190. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2007.05.003>
- Roose, E., & Smolikowski, B. (1997). 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. *Reseau Erosion Bull.* (pp.282-296). ORSTOM.
- Roose, E. (1985). Impact du défrichement sur la dégradation des sols tropicaux, *Machinisme Agricole Tropical*, 87, 24-36.
- Roose, E. (1996). 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.
- Roose, E., Kaboré, V., & Guenat, C. (1993). Le zaï: fonctionnement, limites et amélioration d'une pratique traditionnelle africaine de réhabilitation de la végétation et de la productivité des terres dégradées en région soudano-sahélienne (Burkina Faso). In Spécial érosion: réhabilitation des sols et GCES. *Cahiers ORSTOM. Série Pédologie*, 28(2), 159-173.
- Roose, E., Sabir, M., Arabi, M., Morsli, B., & Mazour, M. (2012). Soixante années de recherches en coopération sur l'érosion hydrique et la lutte antiérosive au Maghreb. *Physio-Géo*, 6(1), 43-69. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.2319>
- Sabir, M., & Roose E (2004). Influences du couvert végétal et des sols sur le stock de carbone du sol et les risques d'érosion et de ruissellement dans les montagnes méditerranéennes du Rif Occidental (Maroc). *Bulletin réseau érosion*, 23, 144-154.
- Sadiki, A. (2005). *Estimation de l'état de dégradation des sols dans le bassin versant de l'oued Boussouab, Maroc nord oriental: Application du modèle empirique (USLE), de la technique du radio-isotope ¹³⁷ Cs et de la susceptibilité magnétique*. (Thèse de doctorat, Université Mohammed, premier faculté des sciences, Oujda). Université Mohammed (Oujda).
- Tahiri, M., Tabyaoui, H., El Hammichi, F., Tahiri, A., & El Haddi, H. (2017). Quantification de l'érosion hydrique et de la sédimentation à partir de modèles empiriques dans le bassin versant de Tahaddart (Rif nord occidental, Maroc). *European Journal of Scientific Research*, 125(2), 157-178.
- Taiqui, L. (1997). La dégradation écologique au Rif Marocain: nécessités d'une nouvelle approche. *Mediterranea. Serie de estudios biológicos*, (pp. 5-17). <https://doi.org/10.14198/MDTRRA1997.16.01>
- Touaïbia, B., & Gomer, D. (1992). Approche quantitative de l'érosion hydrique; Essais de simulations de pluie sur micro-bassins expérimentaux de l'Oued Mina. W.Relizane. Algérie. *Réseau Erosion. Bull. no. 12*. ORSTOM.



- Tribak, A. (2000). *L'érosion hydrique en moyenne montagne du Prérif oriental (Maroc). Etude des agents et des processus d'érosion dans une zone de marnes tertiaires*. (Thèse de Doctorat, Université Chouaib Doukkali-El jadida. 350p.
- Tribak, A., El Garouani, A., & Abahrour, M. (2012). Hydrous erosion in the catchment area of the wadi Iarbaa (Rif mountains, Morocco): Agents, processes and modeling. *Present Environment and Sustainable Development*, 6(2), 7-20.
- Tribak, A. (2020). Erosion and Flooding Risks in the Marly Basins of the Eastern Prerif Mountains (Morocco): A Response to Exceptional Climate Events or to Anthropogenic Pressure. *Revista de Estudios Andaluces*, (40), 159-182. <https://doi.org/10.12795/rea.2020.i40.09>
- Tribak, A., Baena-Escudero, R., Guerrero-Amador, I.C., Amhani, Z., Abahrour, M., El Garouani, A., & Arari, K. (2021). Evaluación de los usos del suelo y la erosión hídrica en la subcuenca hidrográfica montañosa del Oued Ourtza (Pre-Rif Oriental, Marruecos). *Investigaciones Geográficas*, 76, 309-326. <https://doi.org/10.14198/INGEO.18851>.
- Zhao, W., Liu, Y., Daryanto, S., Fu, B., Wang, S., & Liu, Y. (2018). Metacoupling supply and demand for soil conservation service. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 33(1), 136-141. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.05.011>