

# CAPACITE D'INFILTRATION ET RISQUES D'EROSION DES SOLS DANS LA VALLEE DES BENI BOUFRAH -RIF CENTRAL (MAROC)

J. Al Karkouri. \*, A. Laouina\*\*, E. Roose\*\*\*, M. Sabir\*\*\*\*

\*Université Ibn Tofail. FLSH. Kénitra, Maroc.

\*\*Université mohamed v. FLSH. Rabat. Maroc.

\*\*\*IRD. BP 5045. Montpellier. France.

\*\*\*\*ENFI. BP 511. Salé. Maroc.

## Résumé

Dans le cadre d'une cartographie des risques d'érosion et de ruissellement à l'aide d'un SIG, une recherche a été menée sur la capacité d'infiltration comme caractéristique centrale qui régularise les flux d'eau, le ruissellement et même l'érosion. Exécutés à l'aide d'un simulateur manuel, les tests d'infiltrabilité ont permis d'estimer sur  $1\text{m}^2$  la réaction de différents milieux et états de surface vis-à-vis d'une averse de forte intensité (80mm/h) et de hauteur élevée mais dépourvue de la majeure partie de son énergie cinétique.

Les résultats obtenus dans trois milieux distincts de la vallée des Béni Boufrah, au nord du Maroc (jachère prolongée et terrain abandonné, terrain à couvert végétal continu et terres régulièrement travaillées) montrent que l'essentiel du ruissellement provient des terrains en jachère prolongée et les terrains abandonnés peu filtrants ainsi que des zones à couvert forestier continu pâturé. Les terrains régulièrement travaillés sont filtrants en général mais fournissent beaucoup de sédiments en suspension en présence de fortes pentes. Le couvert forestier ne joue son rôle de protecteur que dans des conditions de mise en défens.

Pour expliquer cette variabilité spatiale des caractéristiques hydrodynamiques des sols, l'observation des états de surface fournit de bonnes réponses. La pierrosité superficielle, les surfaces ouvertes et les surfaces couvertes augmentent l'infiltration et contrecarrent le ruissellement, alors que les surfaces fermées et l'humidité préalable avantagent le ruissellement et l'érosion. La rugosité ne joue pas de rôle significatif sur les fortes pentes.

La corrélation très significative ( $R^2 = 0.58-0.82$ ) entre le facteur K de l'équation universelle de prédiction des pertes en terre et les résultats du test d'infiltrabilité montre que celle-ci peut être utilisée pour estimer les risques de ruissellement et d'érosion.

**Mots-clés:** Simulation de pluie, Infiltration, Ruissellement, Erosion, Etats de surface, Maroc.

## Abstract

This study focuses on the mapping of erosion risks and the rain wash using the Geographic Information System (GIS). The infiltration capacity was thus found to be the main factor regularising the rain wash flux and erosion rate. Infiltrability tests done by a manual simulator (Roose, 1997) allowed us to estimate, on surface of  $1\text{m}^2$  the response of several environments with different surface states to an intense shower (80 mm/h in the average), devoid of most of its kinetic energy.

The obtained results for three distinct environments (prolonged fallow and abandoned land, land with a permanent vegetation cover and regularly plowed land) show that most of the rain wash originates from prolonged fallow and abandoned lands whose infiltration capacity is very low and from lands which are covered by permanent forests and

are used as grazing grounds. The regularly plowed fields generally show high infiltration rates but also liberate a lot of suspended sediments when the slope is steep. The forest cover do not act as a soil protector unless it is well developed.

This spatial variation of the hydrodynamic characteristics of soils can be well explained by the variation of their surface status. Thus, pebbly, opened and covered surfaces show higher infiltration rates than closed and moistened surfaces which rather foster erosion and rain wash. Soil roughness acts as a controlling factor of the infiltration rate only where slopes are steep.

The good correlation obtained ( $R^2 = 0.58 / 0.82$ ) between the K factor of the Universal Soil Loss Equation (USLE) and the infiltration shows that these latter can be used to evaluate the rain wash erosion risks.

**Keywords :** Rain simulation, Infiltration, Rain wash, Erosion, Surface status, Morocco.

## Introduction

Dans la vallée des Béni Boufrah, l'évolution démographique au XXème siècle a entraîné une forte pression sur les terres agricoles (Pascon, 1983) qu'indique l'extension des superficies mises en culture dépassant actuellement 80 % de la surface totale de la vallée. Cette extension a entraîné le défrichement presque total de la forêt. Actuellement 30% seulement des terrains anciennement mis en culture sont exploités; le reste est soit laissé en jachère prolongée soit abandonné définitivement. Cette situation a eu pour résultat une accélération de la dynamique érosive qui menace la présence de la population dans la région vu les nuisances variées (pertes de terre, accentuation des crues et des inondations et progression du ravinement).

Nul doute que le couvert végétal, la pente, l'agressivité climatique et les techniques culturales sont des facteurs majeurs de cette érosion accélérée. Cependant on reconnaît que les propriétés intrinsèques des sols ont une influence non moins importante sur l'intensité de ce phénomène.

Dans le cas de la vallée des Béni Boufrah, les sols sont généralement limono-sableux, peu pourvus en argile et en matière organique. Ils présentent des horizons de surface peu structurés et instables surtout en présence d'une pluie brutale et encroûtante. Ceci explique une bonne part de la dynamique du ruissellement et de l'érosion.

Cette communication se propose donc d'approcher les phénomènes de ruissellement et d'érosion à travers l'étude de la capacité d'infiltration en utilisant une méthode simple mais pertinente de simulation de pluies (Roose, 1997).

Les objectifs escomptés sont :

1. Tester la capacité d'infiltration des terrains sous différentes formes d'occupation des sols dans la région à savoir :
  - les jachères prolongées et les terrains abandonnés,
  - les sols sous couvert forestier continu, pâturés,
  - les terres régulièrement travaillées (exploitées ou non).
2. Essayer d'interpréter les observations de la dynamique d'infiltration à l'aide des caractéristiques physico-chimiques des sols et des états de surfaces.
3. Approcher l'importance de l'infiltrabilité dans la prévision des risques d'érosion à la lumière des valeurs du facteur K de l'équation universelle de prédiction de l'érosion (USLE).

## 1. Milieu d'étude

### 1.1. Localisation

La vallée des Béni Boufrah d'une taille modeste (160 km<sup>2</sup>) se situe au cœur du versant nord de la chaîne montagneuse du Rif qui occupe le nord du Maroc. Le relief de crête (plus de 1500 m d'altitude) qui la domine au sud s'incline progressivement vers le nord pour céder la place à un paysage de collines qui annoncent la côte méditerranéenne.

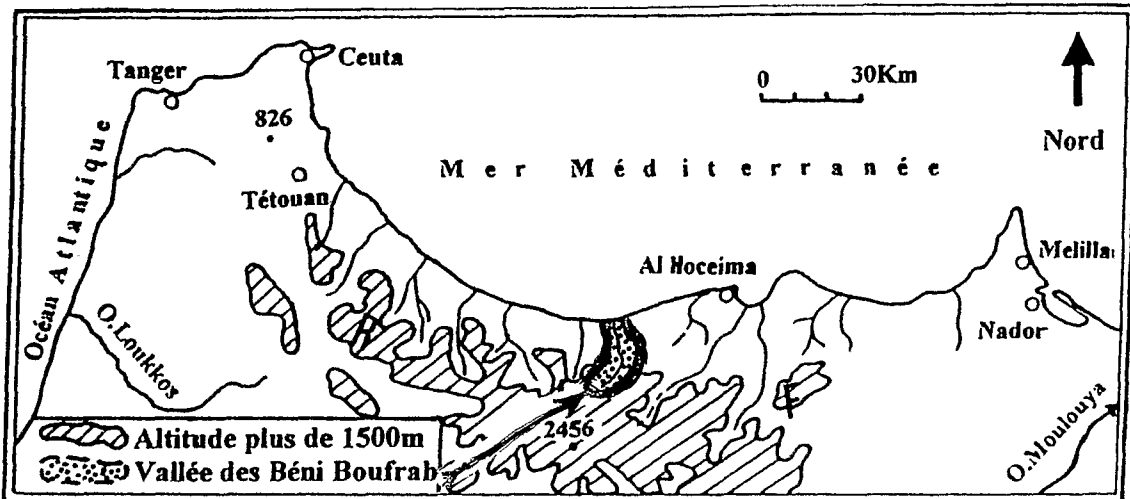


Figure 1. Localisation de la vallée des Béni Boufrah, au Nord du Maroc

### 1.2. Géologie et topographie

La région est partagée entre deux unités géologiques distinctes, l'extrême nord est occupé par la terminaison occidentale de la chaîne calcaire des Bokkoya alors que le centre et le sud font partie de l'unité de Tizirène constituée essentiellement de flysch grésomarno-pélique. Ce soubassement géologique se traduit en surface par un relief montagneux multiforme caractérisé par des altitudes modestes augmentant du nord vers le sud où elles atteignent plus de 1500m. La forte dissection de ce relief a engendré un système complexe de pentes où les fortes inclinaisons (plus de 20%) occupent 62 % de la surface totale. L'oued coule de façon intermittente et son débit est estimé à 1,4 m<sup>3</sup>/s.

### 1.3. Climat et végétation

La vallée est soumise à un climat de type méditerranéen avec une pluviosité annuelle moyenne de 250mm. La courbe ombro-thermique montre une courte période humide (mi-novembre -mi-mars) soit 5 mois et une longue période sèche de 7 mois. La région est partagée entre deux étages bioclimatiques :

- au nord et au centre, l'étage semi-aride à bioclimat dominé par le thuya.
- au sud l'étage sub-humide comprend surtout le chêne liège.

La forêt originelle a presque complètement disparu, remplacée par les terres de culture. Le matorral est encore cantonné sur les altitudes du sud.

### 1.4. Population et activité

La région de Béni Boufrah est fortement anthropisée. Elle comprend une trentaine de douars abritants 12100 habitants soit une densité de 70 hab/km<sup>2</sup>.

L'agriculture est l'activité principale de la population. Elle se base sur le triptyque, céréaliculture, arboriculture et élevage. Depuis les années 1980 la culture du cannabis gagne progressivement en ampleur. L'émigration en Europe est importante.

L'agriculture est l'activité principale de la population. Elle se base sur le triptyque, céréaliculture, arboriculture et élevage. Depuis les années 1980 la culture du cannabis gagne progressivement en ampleur. L'émigration en Europe est importante.

## **2. Techniques de travail et méthodes.**

### **2.1. Techniques de travail**

Les techniques et méthodes utilisées dans cette étude nous ont été imposées par le cadre général dans lequel elle s'insère qui est celui de la cartographie des risques d'érosion à l'aide d'un SIG. Pour ce faire et compte tenu de la grande variabilité des conditions du milieu, de la raideur des pentes, et des limitations matérielles, nous avons opté pour l'utilisation de méthodes simples, pertinentes et adaptées aux milieux montagneux.

Pour tester la réaction des différents milieux de la région nous avons utilisé la méthode du simulateur de pluie manuel conçu par Roose (1997).

Le dispositif est composé de matériel très simple :

- un arrosoir conventionnel de 10 litres,
- une rampe épandeuse d'herbicide de 50cm de largeur comportant deux lignes de trous de 0,5 mm de diamètres espacés de 1 cm. En fonction du rebouchage des trous, on obtient des pluies dont l'intensité varie de 75-100-120-200 mm/h.
- un couple de cornières en fer pour délimiter le cadre de mesure qui est de 1m<sup>2</sup> (60cm de largeur et 166,6 cm de longueur),
- une goulotte pour drainer le ruissellement vers un récipient,
- une éprouvette de 2l.

Le principe est semblable aux autres méthodes de simulation. Il consiste à projeter des gouttes d'eau sur une surface d'un mètre carré selon la procédure décrite par Roose (1997).

18 profils ont été décrits et échantillonnés puis analysés au laboratoire par les techniciens du Centre National de Recherches forestières (CNRF) à Rabat. L'analyse a concerné les caractéristiques suivantes : granulométrie, matière organique, calcaire total et actif, pH, et bases échangeables. Au total 36 tests d'infiltrabilité ont été effectués.

Les mesures des états de surfaces ont porté sur la distinction des surfaces fermées, ouvertes ou couvertes, outre la rugosité (Roose, 1996).

La pente de chaque site a été mesurée au clinomètre.

### **2.2. Variables prises en compte**

Les principaux paramètres hydrodynamiques pris en compte pour chaque test d'infiltration sont les suivants :

Pi (mm) : Pluie d'imbibition ou hauteur de pluie nécessaire à l'apparition du ruissellement

Fn (mm/h) : Capacité d'infiltration ou Intensité minimale d'infiltration stabilisée.

Kr (%) : Coefficient de ruissellement, égal au rapport entre la lame ruisselée et la hauteur de pluie.

Pt (g/m<sup>2</sup>) : Pertes en terres (matières en suspension), mesurées à titre indicatif.

### **2.3. Homogénéité des réponses**

Pour tester l'homogénéité des réponses à l'infiltrabilité quatre répétitions ont été menées sur deux types de sols, l'un limoneux très instable sur pente forte (plus de 30%) l'autre limono-sableux moins instable sur pente moins forte, le tableau suivant en donne les résultats :

**Tableau 1. Homogénéité des réponses à l'infiltration.**

		Intensité de la pluie (mm/h)	Pluie d'imbibition(mm)	Infiltrabilité mm/h	Coefficient de ruissellement (%)	Perte en terre-g/m <sup>2</sup>
Sol brun rouge limoneux	moyenne	87.3	3.0	58.3	27	810
	Ecart moyen	3.3	0.2	4	3.05	303
Sol rouge limono-sableux	Moyenne	75.5	2.25	37.6	42.5	209
	Ecart moyen	1.8	1.8	1.6	3.5	74

Malgré une certaine variabilité des états de surfaces d'un site à l'autre les répétitions montrent une bonne homogénéité en général sauf pour les matières en suspension. L'utilisation donc de la méthode préconisée ne comporte pas de risque majeur qui puissent compromettre la validité des résultats obtenus.

### 3. Résultats

#### 3.1. Dynamique de l'infiltration

En région aride et semi-aride le ruissellement et son corollaire l'érosion dépendent du dépassement de la capacité d'infiltration d'un sol, c'est-à-dire de sa possibilité d'absorber le flux d'eau fourni. Le processus d'infiltration débute généralement par une décroissance très rapide durant les premiers instants de l'événement pluvieux. Par la suite le taux de décroissance diminue pour aboutir à un régime stable appelé infiltrabilité finale.

Dans la vallée des Béni Boufrah les valeurs initiales de l'infiltration sont globalement élevées situées entre 67 et 110 mm/h. Elles diminuent avec la fermeture de la porosité pour atteindre une infiltrabilité minimale comprise entre 26 (sol sableux du lit d'oued) et 78 mm/h (sur sol limono-argilo-sableux régulièrement travaillé)

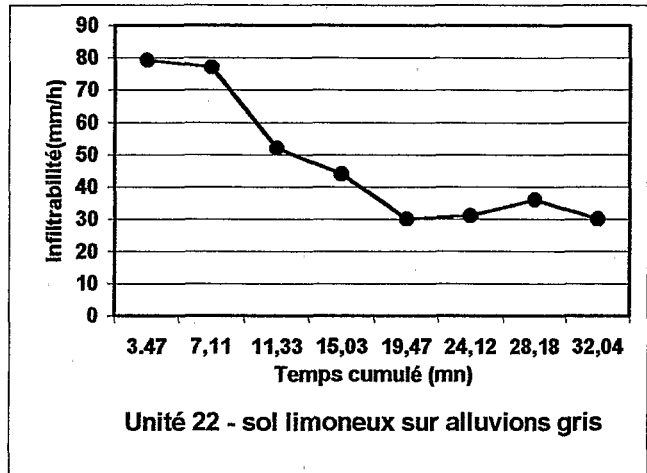
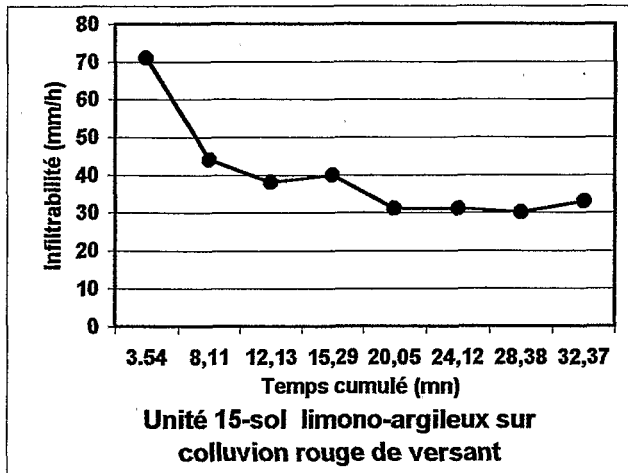
Les courbes d'infiltration obtenues pour les sols de la région montrent l'enchaînement de 3 phases (figure 2) :

1. La phase d'imbibition : durant laquelle toute l'eau s'infiltré, elle dure généralement moins de 10 mn mais elle peut aller au-delà surtout sur sols sableux, sur sols protégés avec un couvert végétal continu ou sur sol travaillé plus tardivement. Cette phase coïncide avec la constitution de la croûte structurale ou croûte de battance sous l'action mécanique et physique des gouttes de pluies. Rappelons que dans le cas de l'irrigateur manuel, les gouttes produites sont dépourvues de la majeure partie de leur énergie cinétique.

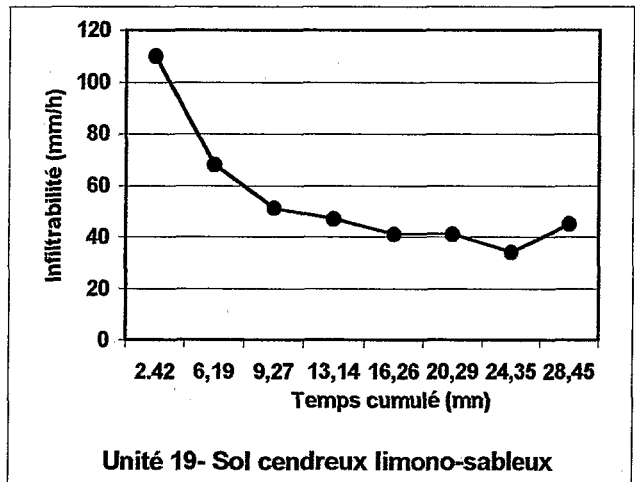
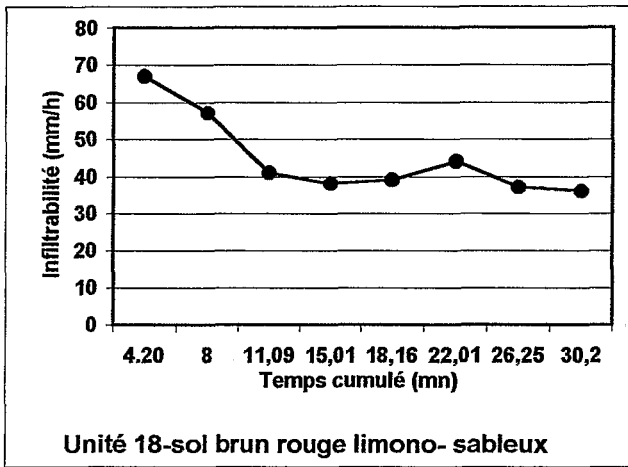
2. La phase de décroissance de l'infiltration dure 15 à 20 mn. Elle se présente avec un profil de diminution progressif différent du profil redressé obtenu avec les simulateurs à gicleur (Roose, 1997; Trevisan et Lelong, 1992). Ceci peut s'expliquer par la lenteur des réorganisations qui s'opèrent à la surface du sol lors de son arrosage, compte tenu de la faible énergie des gouttes. Selon Poss et al, (1989-1990) la phase de décroissance correspond à la transformation de la croûte structurale en croûte d'érosion.

3. La phase de stabilisation (intensité limite d'infiltration), au cours de cette période la diminution de l'infiltrabilité se poursuit très lentement et coïncide conjointement avec le développement de la croûte d'érosion sur les zones restées saillantes et de la croûte de sédimentation dans les zones immergées (Poss et al, 1989-1990).

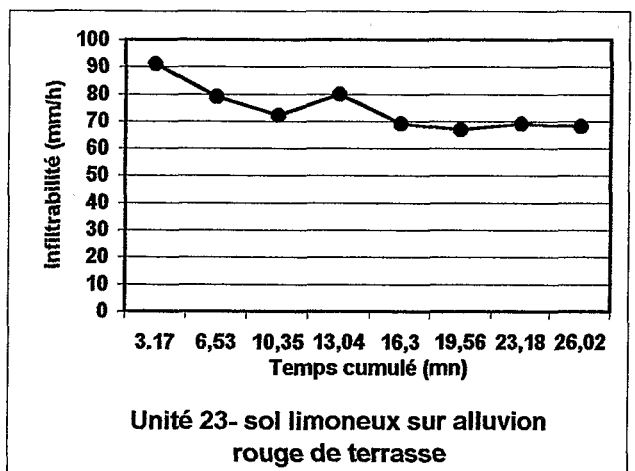
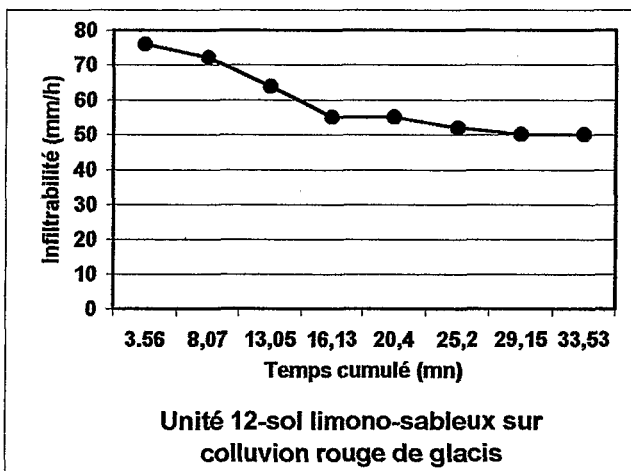
En comparant les résultats d'infiltration de l'irrigateur à rampe et ceux du simulateur à gicleur, Roose (1997) a conclu que les valeurs obtenues par le premier sont 2 à 4 fois plus



**Jachère prolongée et terrain abandonné**



**Terrain à couvert végétal continu paturé**



**Terrain régulièrement travaillé**

**Figure2. Exemples représentatifs de courbes d'infiltration**

fortes que celles du 2ème. Cependant les corrélations entre les résultats obtenus par les deux méthodes sont bonnes. Pour Fn,  $R^2 = 0,74$ .

### **3.2. Variabilité spatiale de l'infiltrabilité**

L'étude de la variabilité des réactions à l'infiltration a été menée en comparant les courbes Fn selon la texture des sites testés d'abord, puis selon le type de sol et enfin selon la forme d'occupation.

Des deux premières comparaisons aucune stratification n'a pu être dégagée puisque à l'intérieur de chaque type textural classé selon le système USDA et de chaque type de sol classé selon le système français, il y a une grande variabilité des réponses hydrodynamiques aux simulations de pluies. Par contre la comparaison selon les formes d'occupation s'est révélée intéressante : trois regroupements plus ou moins homogènes peuvent être distingués (figure 3):

- Les terrains à couvert végétal continu,
- Les jachères prolongées et les terrains abandonnés,
- Les terrains régulièrement travaillés (exploités ou non).

#### **3.2.1. Terrain à couvert végétal continu**

Il s'agit de sols sablo-limoneux généralement plus ou moins lessivés (sol brun podzolique lessivé, sol rouge fersiallitique lessivé) situés sur pentes fortes (plus de 20%) et couverts par un matorral plus ou moins dense renforcé localement par des reboisements. Les valeurs de Fn obtenues diffèrent selon que le terrain est pâturé ou non. Sur les sites loin des installations humaines, donc moins fréquentés, les valeurs de l'infiltrabilité sont les plus fortes de toute la vallée des Béni Boufrah (84 - 99mm/h), le ruissellement est nul à faible (coefficient de ruissellement compris entre 0 et 10 %). Ces résultats consacrent l'intérêt du rôle prépondérant du couvert végétal gardé en bon état comme frein à la susceptibilité des sols au ruissellement et à l'érosion.

Par contre sur les terrains très fréquentés par l'homme et surtout par son troupeau, la capacité d'infiltration est faible (35 - 36,5mm/h), le coefficient de ruissellement atteint des valeurs fortes (36-40 %) et les pertes en terre sont comparables à celles obtenues sur des sols très érodibles. Ceci signifie que les zones couvertes par végétation ne doivent pas être qualifiées systématiquement d'infiltrante. Le tassement du sol par le piétinement des troupeaux induit de profondes transformations dans le comportement hydrodynamique des sols. Notons que la simulation manuelle ne prend pas en compte le recouvrement des arbres.

#### **3.2.2. Jachères prolongées et terrains abandonnés**

Dans la vallée des Béni Boufrah les terres cultivées sont généralement inférieures à la superficie totale cultivable. Les statistiques disponibles font état d'un recul de l'ordre de 70 % des terrains mis en culture. Ceci reflète un phénomène d'abandon temporaire ou définitif des terres ayant vraisemblablement connu une baisse de productivité.

Les terres non cultivées se situent généralement en haut des versants. Elles sont supposées être regagnées par la végétation naturelle mais vu la lenteur de la régénération du matorral à cause des conditions climatiques sévères (sécheresses répétées) et surtout à cause du pacage, ces sols continuent à être dénudés ce qui les expose à diverses formes d'érosion.

Les valeurs de la capacité d'infiltration testée sur différents sites de ces milieux se classent parmi les plus faibles de la région. Comprise entre 29 et 56 mm/h l'infiltrabilité des terrains plus ou moins abandonnés rend compte de leur état vulnérable vis-à-vis du ruissellement qui connaît ici des coefficients très forts situés généralement entre 24 % et 61%. Egalement à titre indicatif les quantités de matière en suspension sont plus élevées. Ainsi les

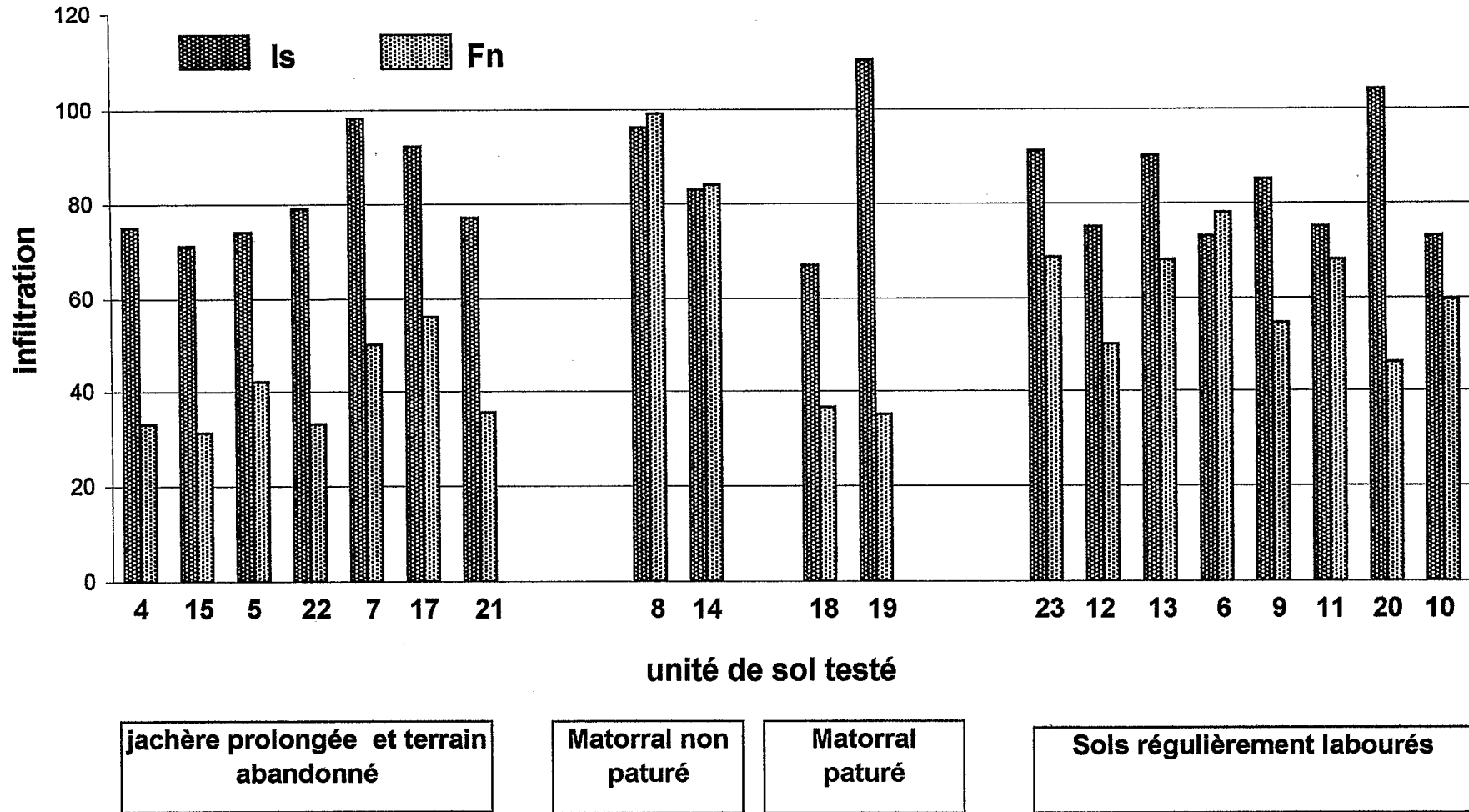


Figure3: Infiltration initiale (Is) et finale (Fn) des sols de Béni Boufrah suivant les formes d'occupation



sols dénudés, non cultivés plus ou moins battus présentent une grande susceptibilité au ruissellement.

### 3.23. Terrains "régulièrement" travaillés

Les terrains situés à proximité des habitations ou ceux qui portent de la bonne terre sont régulièrement, voir intensivement exploités. Dans de telles situations les tests d'infiltrabilité enregistrent de fortes valeurs comprises entre 46 et 78 mm /h. Elles sont plus élevées sur les sols tardivement labourés. Les valeurs du coefficient de ruissellement sont généralement faibles (11 à 24 %) sauf pour les sols podzoliques dénudés (34 %).

En somme, il ressort des résultats présentés que la capacité d'infiltration des sols varie plus en fonction de l'utilisation du sol qu'en fonction des types de sols ou de leur texture. L'état de l'horizon de surface couvert ( $F_n = 84 - 99\text{mm}$ ), rugueux ( $F_n = 46 - 78\text{mm}$ ) ou tassé ( $F_n = 26 - 56\text{ mm/h}$ ) détermine en grande partie le comportement hydrodynamique des sols. Il faut noter aussi que le pacage du troupeau transforme les zones couvertes par végétation continue en source importante de ruissellement et d'érosion.

### 3.3. Facteurs de variabilité de l'infiltration (figure 4)

Pour interpréter les résultats des caractéristiques hydrodynamiques des sols testés, l'intérêt a été porté sur les aspects physico-chimiques, les états de surface et d'humidité préalable.

#### 3.3.1. Influence des caractéristiques physico-chimiques, du sol

##### 3.3.1.1. Influence de la pierrosité

Pour approcher l'effet de la pierrosité sur l'infiltrabilité et le ruissellement il a été mesuré sur chaque site testé le taux de couverture des cailloux à la surface du sol et le pourcentage par rapport à la terre totale du poids des cailloux contenu dans les dix premiers cms. Les corrélations entre les résultats des deux mesures et les caractéristiques hydrodynamiques des sols montre le faible rôle des cailloux contenus dans la masse.

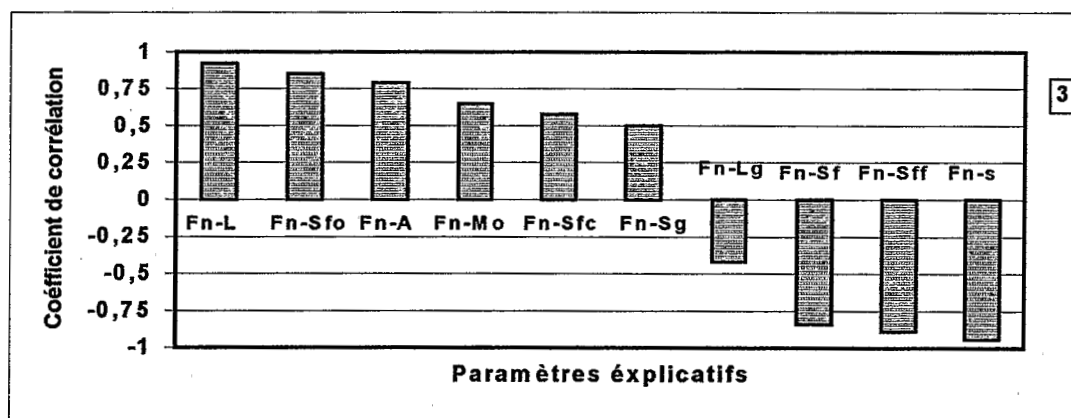
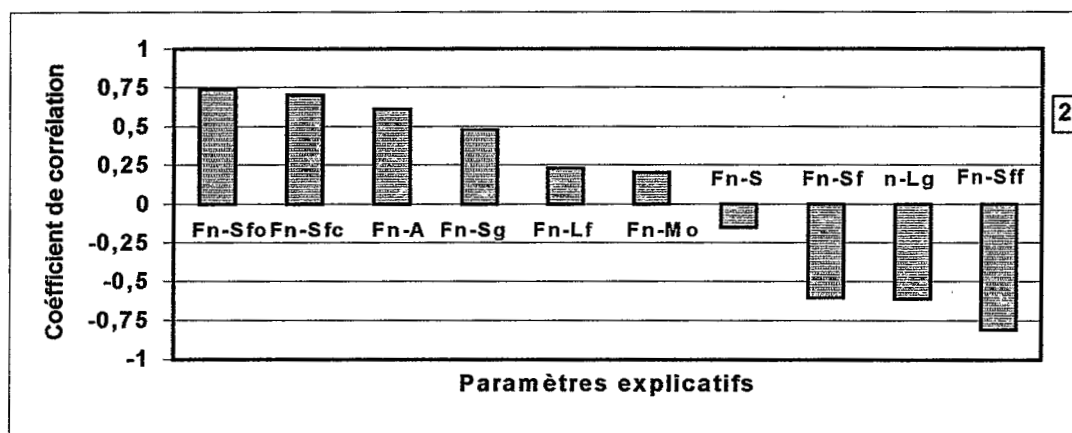
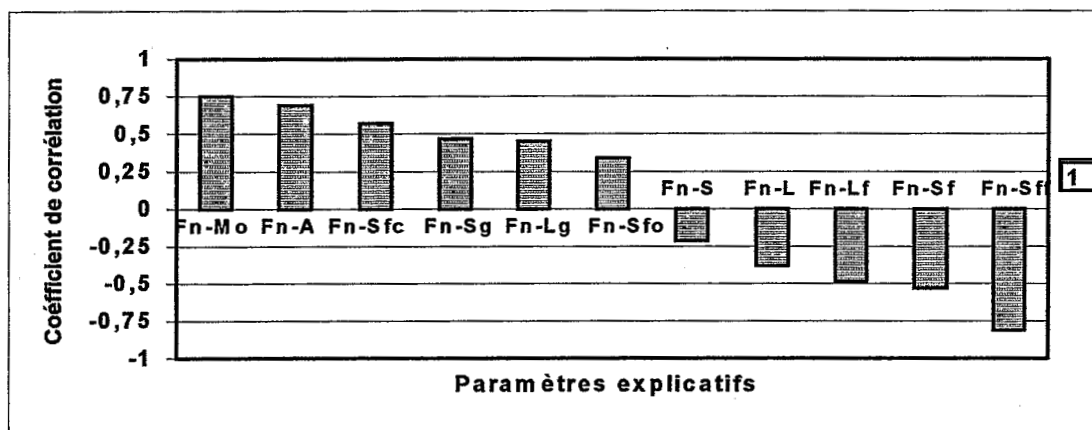
Par contre ces corrélations soulignent un effet positif de la pierrosité de surface sur l'infiltrabilité ( $R = 0,6 / 0,75$ ) et sur la pluie d'imbibition ( $r = 0,76 / 0,99$ ). Cette relation devient négative dans le cas du coefficient de ruissellement ( $R = -0,56 / -0,78$ ). Ces résultats sont en parfait accord avec bon nombre de travaux sur ce point (Dumas 1965, Poesen 1994, Figueiredo 1996). La couverture caillouteuse joue le rôle de mulch en interceptant les gouttes de pluies pour redistribuer leur eau avec plus de douceur d'où son effet plus évident sur la phase d'imbibition. Elle agit en outre comme facteur de rugosité en augmentant le stockage de l'eau à la surface du sol favorisant ainsi l'infiltration et réduisant du même coup la vitesse du ruissellement

##### 3.3.1.2. Influence de la texture

Afin de caractériser l'effet de la texture sur l'infiltration, des corrélations ont été calculées entre celle-ci et les classes texturales (système USDA) sans résultat significatif. Par contre une bonne liaison a été obtenue entre l'infiltrabilité ( $f_n$ ) et la texture des sols surtout l'argile et les sables fins suivant les différentes formes d'occupation (tableau 2).

**Tableau 2. Relation entre infiltrabilité, argile et sable fin suivant les formes d'occupations du sol dans la vallée des Béni Boufrah**

Formes d'occupation	$F_n$ -argile	$F_n$ -Sable fin
Terrain à couvert végétal continu	0,79	-0,84
Terrain régulièrement travaillé	0,61	-0,53
Jachère prolongée et terrain abandonné	0,69	-0,53



**Fn-** Infiltrabilité. **Mo-** Matière organique. **A-** Argile. **L-** Limon **Lf-** Limon Fin  
**Lg-** Limon grossier. **S-** Sable. **Sf-** Sable fin. **Sg-** Sable grossier.  
**Sff-** Surface fermée **Sfo-** Surface ouverte. **Sfc-** Surface couverte.  
 1-Jachère prolongée et terrain abandonné  
 2-Terrain régulièrement labouré  
 3-Terrain à couvert forestier continu

**Figure 4. Relation entre infiltrabilité et caractéristiques physico-chimiques des sols de la vallée des Béni Boufrah.**

La relation positive dans le cas des argiles souligne son rôle important dans la stabilité structurale. Alors que la corrélation négative avec les sables fins consacre l'idée admise sur leur tendance à favoriser la compaction par le comblement des vides.

En somme, conditionnée par le nombre de mesures effectuées, l'influence de la composition texturale sur la capacité d'infiltration ne paraît pas déterminante vue la faible intensité de la relation entre ces deux paramètres.

### 3.3.1.3. Influence de la matière organique

Variant suivant les trois formes d'occupation déjà citées, la répartition spatiale du taux de matière organique dans les sols de la vallée des Béni Boufrah se raccorde très bien avec celle des valeurs de l'infiltrabilité. Ainsi les plus fortes valeurs des deux paramètres se retrouvent dans les sols à couverture végétale continue non pâturés, les plus faibles dans les terrains régulièrement travaillés, tandis que les jachères prolongées et les terrains abandonnés occupent une position moyenne.

Cette concordance positive ne permet pas toutefois d'attribuer un rôle prépondérant au taux de matière organique dans la dynamique de l'infiltration puisque la corrélation mathématique ne confirme ce rôle que dans le cas des sols à couvert végétal continu et les sols plus ou moins abandonnés respectivement de 0,65 et 0,75.

En fait ces résultats concordent bien avec ceux d'autres auteurs (Monnier 1965, Valentin et al 1989, Eimberk 1989). L'influence de la matière organique qui agit surtout sur la stabilité structurale ne devient sensible que pour des teneurs très élevées comme c'est le cas des sols à couvert forestier ou à un degré moindre pour les sols abandonnés. Le rapport de MO/A est compris entre 15 et 34%, des valeurs qui dépassent de loin le seuil de 7 % préconisé par Monnier (1965) pour que l'influence de la matière organique soit sensible. Dans le cas des sols labourés régulièrement, les taux de matière organique sont faibles et leur influence par conséquent diminue.

### **3.3.2. Influence des états de surfaces**

Parmi les divers paramètres explicatifs des caractéristiques hydrodynamiques des sols, les états de surface tiennent une place importante qu'il n'est plus besoin de démontrer. Les plus significatifs d'entre eux sont : la rugosité, les surfaces fermées, ouvertes et couvertes.

#### 3.3.2.1. Rugosité

La rugosité caractérise l'aspect de la surface qui peut être lisse ou modelé en microrelief multiforme. Celui-ci joue le rôle d'agent de détention superficielle sur faibles pentes : il favorise le stockage de l'eau et ralentit le ruissellement. Cependant dans notre cas, ce facteur ne semble avoir aucune influence sur le flux de l'eau. Son rôle se trouve vraisemblablement très réduit par les fortes valeurs de l'inclinaison (la pente dépasse 20 % dans plus de 62 % de la superficie du bassin versant).

#### 3.3.2.2. Surfaces fermées

Sont désignées par surfaces fermées les zones occupées par une croûte de sédimentation, une pellicule de battance, une semelle de compaction ou un cailloux pris dans la masse.

Les mesures effectuées pendant la saison sèche se sont révélées très intéressantes pour expliquer la variabilité du comportement hydrodynamique des sols. En favorisant le ruissellement, les surfaces fermées jouent un rôle négatif dans la dynamique d'infiltration. Cette relation est bien exprimée par les forts coefficients de corrélation négatifs dans le cas de l'infiltrabilité ( $r = -0.81$  et  $-0.89$ ).

### 3.3.2.3. Surfaces ouvertes

Les surfaces ouvertes intéressent fissures et galeries de termites et mottes de diverses tailles qui constituent des pièges favorisant l'infiltration. Cet état de surface caractérise surtout les sols régulièrement travaillés et les zones à couvert végétal continu où sont obtenues des corrélations significatives respectivement 0,60 et 0,81, ailleurs la relation est insignifiante.

### 3.3.2.4. Surfaces couvertes

Englobant litière, adventices, canopée et cailloux non intégrés, La couverture du sol agit par la protection, mais surtout par la porosité sous-jacente, souvent élevée. Ceci se traduit par une corrélation positive entre  $F_n$  et surfaces couvertes qu'on retrouve dans les trois formes d'occupation du sol avec des valeurs de  $R$  comprises entre 0,63 et 0,68. Cette relation devient négative et moins forte dans le cas du coefficient de ruissellement,  $R$  se situant entre 0,41 et 0,65.

Au total ces résultats montrent l'importance du rôle des propriétés structurales de l'horizon superficiel dans la régulation des flux d'eau et dans la détermination du comportement des sols vis-à-vis de l'érosion.

### 3.3.3. Influence de l'état hydrique des sols

Afin d'avoir des résultats comparables, tous les tests d'infiltrabilité ont été effectués en période d'été pendant le mois d'août, lorsque les sols se trouvaient dans leur état le plus sec. Toutefois l'état hydrique initial des sols varie au cours de l'année, raison pour laquelle des répétitions ont été menées pendant le mois de novembre après les premières pluies d'automne sur des sols qui renfermaient une teneur d'eau mesurée en pour-cent massique de l'ordre de 15% dans les dix premiers centimètres et de 11% en profondeur (entre 10 et 20 cms).

Les répétitions ont concerné deux types de sols, l'un très instable régulièrement labouré (Sol brun rouge limoneux) l'autre moins instable en jachère prolongée (sol rouge fersiallitique limono-sableux). Les résultats obtenus présentés dans la figure 5 consacrent l'importance des effets de l'état hydrique préalable des sols sur l'infiltrabilité. Celle-ci connaît une nette réduction en fonction du taux d'humidité initiale. Du même coup la pluie d'imbibition diminue très fortement alors que le ruissellement atteint des coefficients élevés et entraîne plus de matière en suspension.

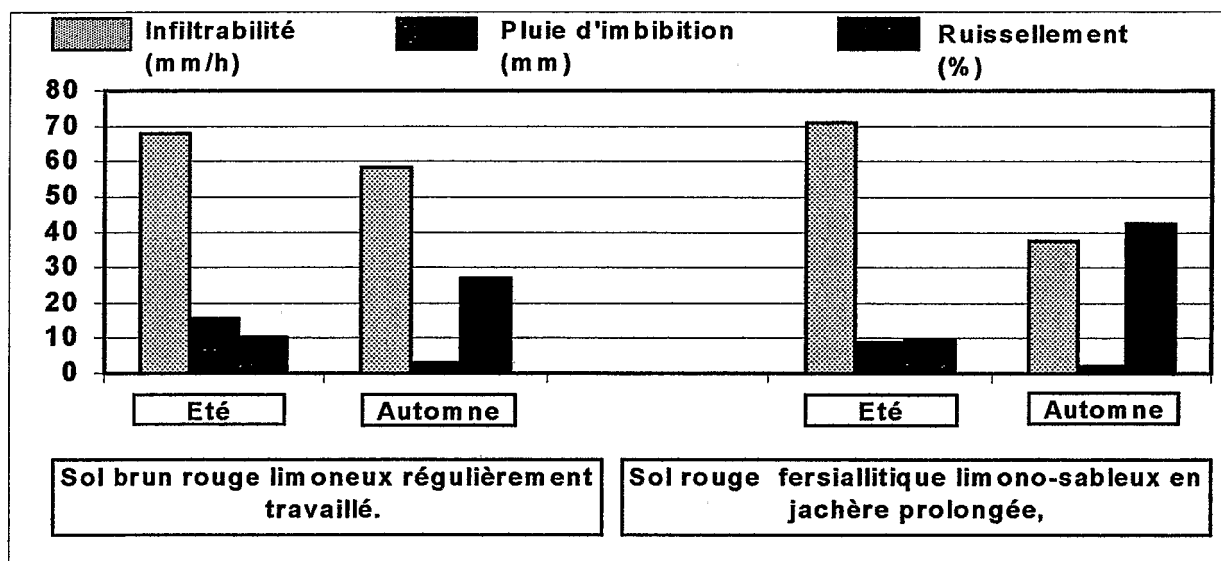


Figure 5. Influence de l'état hydrique des sols sur l'infiltrabilité, la pluie d'imbibition, et le ruissellement.

### 3.4. Capacité d'infiltration : indicateur de la susceptibilité à l'érosion

En mettant en jeu un grand nombre de paramètres (texture et structure du sol, état hydrique du profil et flux d'eau fourni), la capacité d'infiltration se présente comme une caractéristique centrale qui en régularisant le débit d'absorption en eau détermine l'apparition du ruissellement et de l'érosion.

Partant de là, et vu que la notion de sensibilité à l'érosion repose en partie sur la connaissance de ces mêmes propriétés qui influence l'infiltrabilité, il est apparu possible de se servir de celle-ci comme indicateur de l'érodibilité des sols. En effet la comparaison à l'aide de la régression linéaire entre les valeurs du facteur K de l'équation universelle de la prédiction de l'érosion du sol qui demeure un indice conventionnel pour identifier les terrains susceptibles à l'érosion et les valeurs de Fn est réconfortante. Notons que les valeurs de k ont été calculées à l'aide du nommogramme proposé par Wischmeier et al, 1971.

L'intensité de la relation entre la capacité d'infiltration et le facteur K est significative (figure 6). Elle est de l'ordre de 0,82 sous couvert forestier, de 0,68 pour les sols régulièrement travaillés et de 0,58 pour les jachères prolongées et les terrains abandonnés. La capacité d'infiltration en tant que méthode peu complexe pourrait donc constituer un moyen approximatif pour estimer le risque d'érosion des sols surtout dans les zones de montagnes.

### Conclusions

Malgré les limitations liées au type de pluie produite par le simulateur manuel à rampe, les résultats obtenus concernant les paramètres hydrodynamiques du sol sont d'un grand secours pour la compréhension de la dynamique de l'infiltration, du ruissellement et de l'érosion dans les zones de montagnes.

Les résultats les plus significatifs concernent :

- la grande utilité de la méthode dans la spacialisation des observations, compte tenu du simple dispositif expérimental qu'elle requiert. Ainsi il a été établi que les terrains abandonnés ou en jachère prolongée sont peu filtrants et fournissent beaucoup de ruissellement et de pertes en suspension. Les sols régulièrement travaillés infiltrent mieux le flux d'eau fourni et ruissellent moins mais fournissent de fortes quantités de sédiments en présence de fortes pentes. Enfin les zones à couvert végétal continu sont très filtrantes et peu ruisselantes dans la mesure où elles ne sont pas pâturées ; autrement elles se transforment en terrains peu filtrants subissant ainsi des pertes importantes de matières en suspension.

- le rôle limité de la texture et du type de sol dans la variabilité de l'infiltration et des autres paramètres hydrodynamiques.

- l'importance du rôle de la matière organique lorsqu'elle est suffisamment fournie.

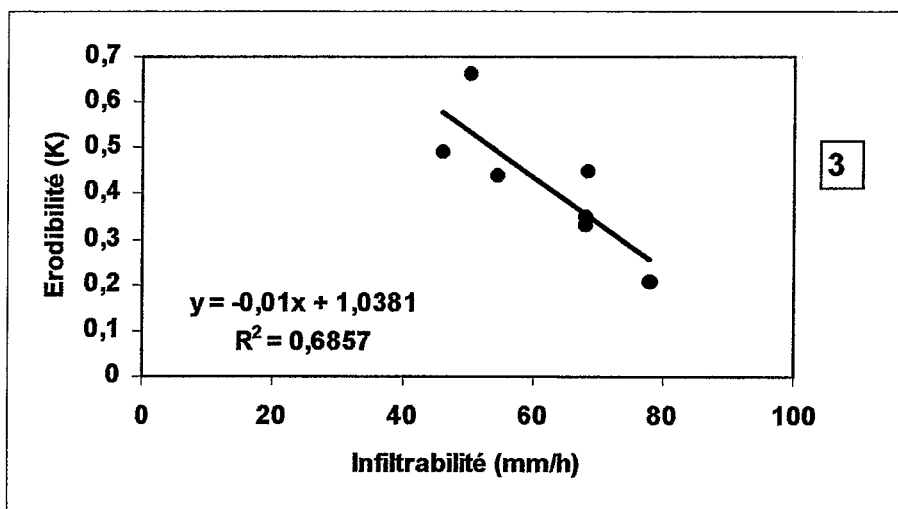
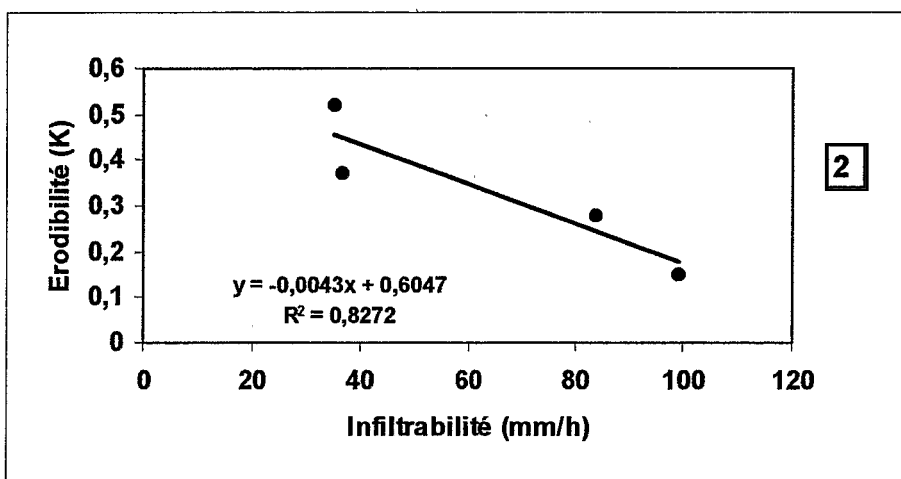
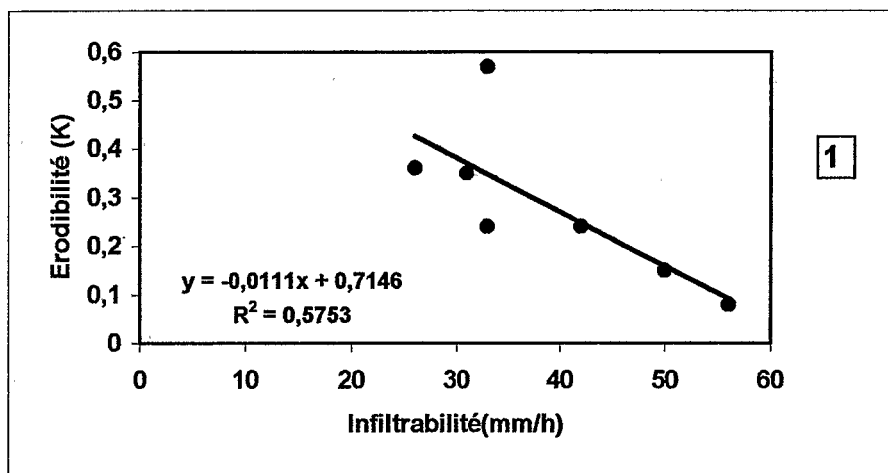
- l'influence prépondérante des états de surface dans la dynamique de l'infiltration, du ruissellement et de l'érosion. Ont été soulignés surtout:

- + l'effet positif de la pierrosité superficielle, des surfaces ouvertes et des surfaces couvertes sur l'infiltrabilité et la pluie d'imbibition et leur impact négatif dans le ruissellement et l'érosion.

- +Le rôle très réduit de la rugosité dans les conditions de fortes pentes, et du cailloutis contenu dans le sol sur l'infiltration.

- +L'effet négatif des surfaces fermées et de l'humidité initiale du sol sur la capacité d'infiltration et leur effet positif sur le ruissellement et l'érosion.

- La bonne régression entre l'érodibilité du sol (facteur K de l'équation universelle de perte en terre) et les résultats de l'infiltrabilité peut permettre l'utilisation de celle ci dans une approche de la susceptibilité des sols à être érodé.



- 1-Jachère prolongée et terrain abandonné.
- 2-Terrain à couvert végétal continu.
- 3-Terrain régulièrement travaillé

Figure 6. Relation entre infiltrabilité et facteur K de l'équation universelle des pertes en terre.

## Bibliographie

- Dumas J., (1965).** Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques. Cah. ORSTOM. Pédol. 3(4): 307-333
- Eimberck M.,(1989).** Facteurs d'érodibilité des sols limoneux: Réflexions à partir du cas du pays de caux. Cah. ORSTOM . Pédol., n° 1-2: 81-94.
- Figueiredo T.,(1996).** Influence de la pierrosité superficielle sur l'érosion d'un sol franc-limoneux: Résultats d'une expérimentation de simulation. Bull. Réseau Erosion 16, ORSTOM, Montpellier, France,: 98-108.
- Floret Ch., Mtimet A.,Pontanier R., (1989).** Régime hydrique et sensibilité à l'érosion de système écologique de la zone aride (Tunisie). Cah. ORSTOM. Pédol., n° 1-2: 53-69.
- Laouina A.,(1998).** Dégradation des terres dans la région méditerranéenne du Maghreb. Bull. Réseau Erosion18, ORSTOM, Montpellier, France : 33-53.
- Laouina A., Chaker M., Naciri R., Nafaa R.,(1993).** L'érosion anthropique en pays méditerranéen, le cas du Maroc septentrional. Pbl. Bull. Assoc., des géographes français. n° 5: 384-398.
- Le Bissonnais Y., Bruand A., Jamagne M.,(1989).** Etude expérimentale sous pluie simulées de la formation des croûtes superficielles, apport à la notion d'érodibilité des sols. Cah. ORSTOM . Pédol., n° 1-2: 31-40.
- Lelong F., Roose E., Dartout R., Trevisan D.,(1993).** Susceptibilité au ruissellement et à l'érosion en nappe de divers types texturaux de sols cultivés ou non cultivés du territoire français. Expérimentation au champs sous pluies simulées. Science du sol, Vol.31,n° 4:251-279.
- Monnier G.,(1965).** Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse Doct. Ing. Sc., Univ. Paris: 140p.
- Niobe T., Hauser S., (1999).** Capacité d'infiltration: indicateur des risques du ruissellement et d'érosion en fonction des techniques culturales. Bull. Réseau Erosion 19, ORSTOM, Montpellier, France,: 224-234.
- Poesen J., Lavee H., (1994).** Rock fragment in soil surface dynamics. Catena 23 (1-2) . Special issue.
- Poss R., Pleuvret C., Saragon H.,(1989-1990).** Influence des réorganisations superficielles sur l'infiltration dans les terres de Barre (Togo méridional). Cah. ORSTOM. Pédol. 24, 4: 405-418-5.
- Roose E.,(1994).** Introduction à la gestion conservatoire de l'eau, de la biomasse et de la fertilité des sols (GCES). Bull. Pédol., de la FAO,n°70: 420p.
- 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, ORSTOM, Montpellier, France,: 87-97.
- Roose E., Sarrailh J-M.,(1989).** Erodibilité de quelques sols tropicaux, vingt années de mesure en parcelles d'érosion sous pluies naturelles. Cah. ORSTOM. Pédol., n° 1-2: 7-30.
- 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. Bull. Réseau Erosion 17, ORSTOM, Montpellier, France.: 282-296.
- Valentin C., Janeau JL.,(1989).** Les risques de dégradation structurale superficielle de la couverture pédologique en savane humide de côte d'Ivoire. Cah. ORSTOM . Pédol., n° 1-2: 41-52.
- Wischmeier WH., Johnson CB and Cross BV.,(1971).** A soil erodibility Nomograph for farmland and construction sites. J. Soil and Water conservation. 26, 5: 189-192.