

DELEGATION GENERALE A LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
D.G.R.S.T.
PARIS

Pole 1 : 2CR
C
OFFICE DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE
OUTRE-MER
Centre d'Adiopodoumé

DIFFUSION RESTREINTE

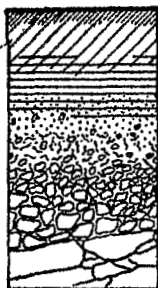
Ce document n'est pas une publication.
Il ne doit faire l'objet d'aucun compte-rendu ou
résumé, ni d'aucune citation sans l'autorisation
de l'O. R. S. T. O. M.

**ETUDE LAT/03 : RUISSELLEMENT, INFILTRATION ET
EROSION EN ZONES SAHELIENNES ET SUBDESERTIQUES**

**EFFET DE L'INTENSITE DE PLUIE ET DE L'HETEROGENEITE DE SURFACE
DU SOL SUR L'INFILTRATION A REGIME CONSTANT**

J. COLLINET

C. VALENTIN



- 9 JUIN 1987

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 20753 ex 1

Cote : B 11 88

Adiopodoumé, décembre 1980

1

EFFECTS OF RAINFALL INTENSITY AND SOIL SURFACE
HETEROGENEITY ON STEADY INFILTRATION RATE.

Summary

Field tests were carried out using rainfall simulation on semi-arid soil of Upper-Volta and Niger to study the effect of rainfall intensity on steady infiltration rate. Experimental results support a physically-based model pointing out the prevailing influence of soil surface characters : for an homogeneous surface as a crust, the steady infiltration rate is not related to rainstorm intensity but principally to initial conditions. By way of compensation, for an heterogeneous surface as a cultivated field, the infiltration capacity is an ascending function of rainfall intensity. Moreover such results have been observed on arid soils (Northern Niger) and ferrallitic soils (Ivory Coast) and suggest consequently a general application of this model.

EFFETS DE L'INTENSITÉ DE PLUIE ET DE L'HÉTÉROGÉNÉITÉ
DE SURFACE DU SOL SUR L'INFILTRATION À RÉGIME CONSTANT

Résumé

Des essais de terrain ont été menés sous pluies simulées sur des sols semi-arides de Haute-Volta et du Niger en vue d'étudier l'effet de l'intensité des pluies sur la capacité d'infiltration à régime constant. Les résultats expérimentaux confirment la validité d'un modèle physique qui met en évidence le rôle prépondérant des caractères de la surface du sol : pour une surface homogène (comme une croûte de battance par exemple), l'infiltration à régime constant est indépendante de l'intensité de la pluie mais est surtout liée aux conditions initiales d'humectation. Dans le cas d'une surface hétérogène par contre, comme celle d'un champ cultivé, la capacité d'infiltration est une fonction croissante de l'intensité de la pluie. De tels résultats ont été également obtenus sur des sols arides (Nord Niger) et des sols ferrallitiques (Côte d'Ivoire) ce qui laisse prévoir une application générale de ce modèle.

EFFEKT DER REGENFÄLLESTÄRKE UND DER BÖDENFLÄSCHEBEDINGUNGEN ANG DIE BÖDENEINSICKERNSFÄHIGKEIT

Zusammenfassung

Um den Effekt der Regenfällestärke auf die unter stabilisierten Einsickernsgeschwindigkeitsbedingungen Einsickernsfähigkeit der Böden auszuprüfen, wurden, hilfs eines Regensimulators, Feldversuche auf halb-aride Böden in Ober-Volta und Niger ausgeführt. Die experimentalen Ergebnisse bestätigen die Gültigkeit eines physich-mathematischen Modells welches die entscheidende Rolle der Bodenfläscheeigenschaften hervorhebt. Falls einer gleichartigen Fläche (Bodenkruste z. B.) hängt die Einsickernsfähigkeit nicht von der Regenschauerstärke sondern hauptsächlich von der vorläufigen Bodenfeuchtigkeit ab. Falls einer heterogenen Fläche (bebautes Feld z. B.) ist sie im Gegenteil eine zunehmende Funktion der Regenschauerkraft. Die selben Ergebnisse wurden auch auf aride- (Nord-Niger) und ferralitische- (Elfenbeinküste) Böden erlangt. Sie wiesen deshalb auf die Möglichkeit einer allgemeinen Anwendung dieses Modells hin.

EFFETS DE L'INTENSITÉ DE PLUIE ET DE L'HÉTÉROGÉNÉITÉ
DE SURFACE DU SOL SUR L'INFILTRATION À RÉGIME CONSTANT

J. COLLINET et C. VALENTIN

traduction de l'article :

Effects of rainfall intensity and soil surface heterogeneity
on steady infiltration rate : J. COLLINET and C. VALENTIN, 1980

De nombreux travaux ont été entrepris sur les modèles d'infiltration (Hachum et Alfaro, 1978 ; Gifford, 1976 ; Gifford et Hankins, 1978...) mais jusqu'à maintenant les recherches concernant l'influence de l'intensité de pluie sur la capacité d'infiltration mesurée au champ sont restées très peu nombreuses en dépit de leur utilité pour prévoir le ruissellement et la mise en réserve de l'eau. Les données obtenues sous pluies simulées dans la zone semi-aride de l'Afrique de l'Ouest ont permis de vérifier la validité d'un modèle théorique.

Les sols

Les essais ont porté sur deux sols choisis parmi des unités largement représentées au Nord de la Haute-Volta et au Sud du Niger. Le sol situé à Oursi (Haute-Volta) est brun-rouge, sableux, à faible drainage profond ; sa roche mère est basique. Il se trouve au piedmont de colline et est partiellement recouvert de sables éoliens. Il appartient aux "Ferric Luvisols" (F.A.O., 1968) et aux "Sols ferrugineux tropicaux peu lessivés" (Classification française, C.P.C.S., 1967). Le sol situé à Galmi (Niger) est rouge-sombre, sableux et peu profond sur grès induré. Il se trouve sur un plateau et appartient aux "Ferric Luvisols" (F.A.O., 1968) et aux "Sols ferrugineux tropicaux lessivés" (C.P.C.S., 1967). La culture traditionnelle du mil constitue l'utilisation principale de ces deux sols.

Matériel et méthodes

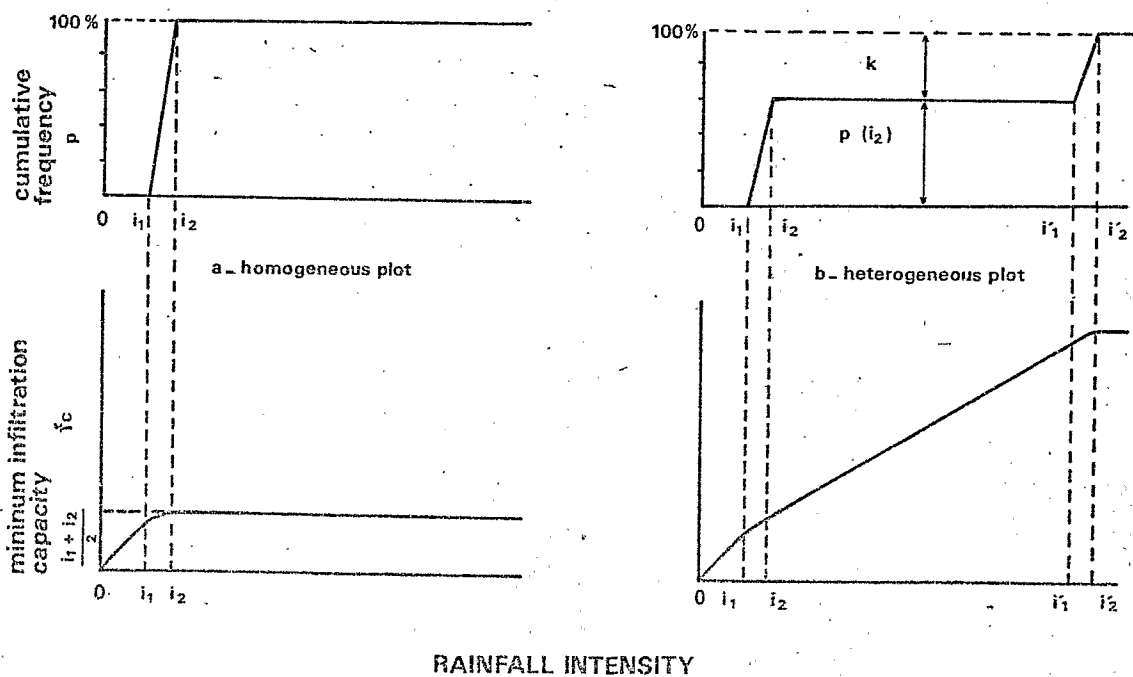
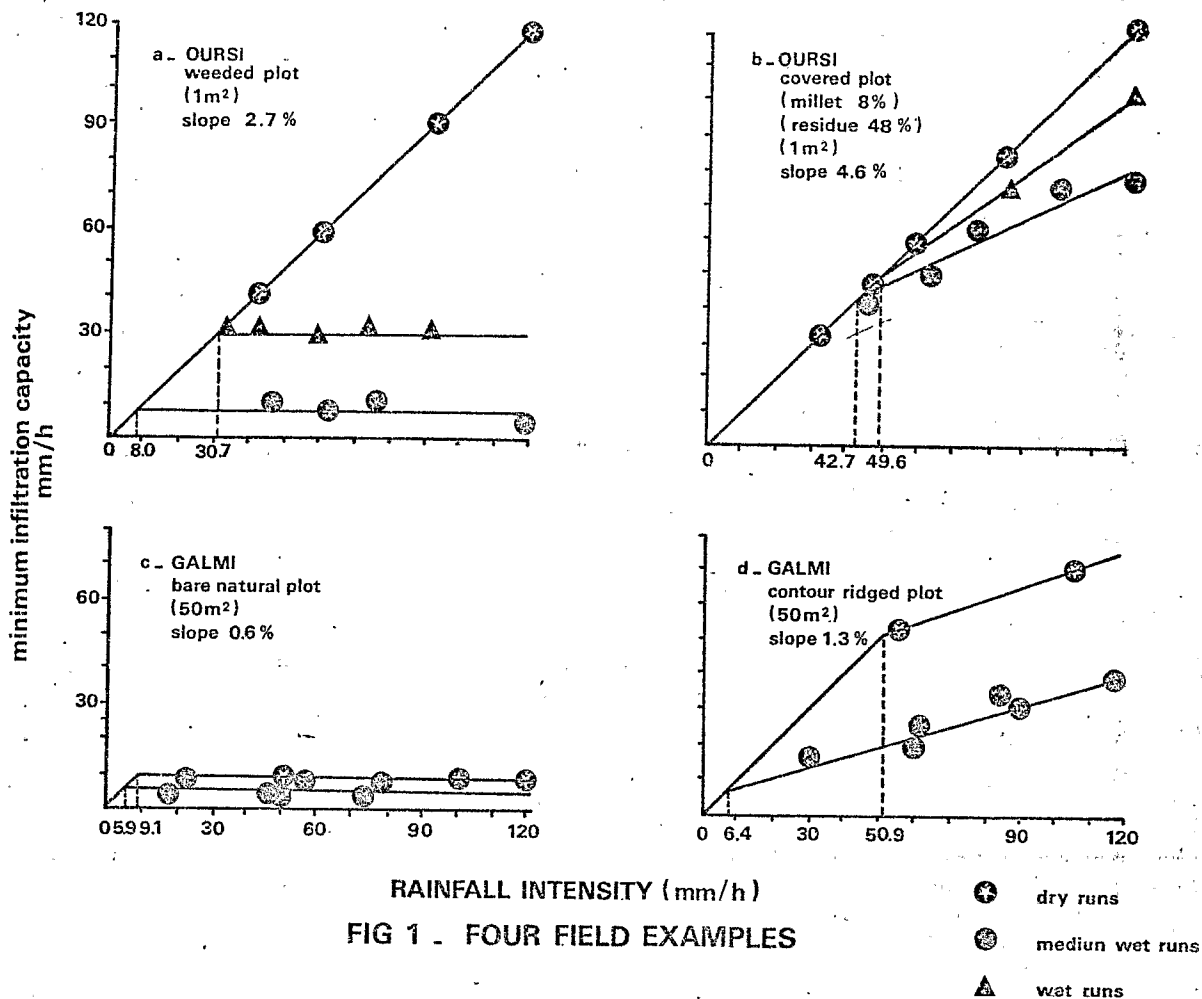
Un infiltromètre à aspersion (Asseline et Valentin, 1978) a été mis en oeuvre en Haute-Volta sur des parcelles d'un mètre carré entourées d'un anneau de garde de 8 m², les intensités de pluie pouvant varier de 30 à 140 mm/h. Au Niger, ce fut un simulateur de pluie (Swanson, 1965) qui fut utilisé pour arroser simultanément deux parcelles de 50 m² sous une gamme d'intensité de pluies comprise entre 30 et 120 mm/h. Pour les deux appareils, il a été possible d'obtenir des distributions de tailles de gouttes et des vitesses d'impact au sol proches des conditions naturelles (Valentin, 1978).

Les protocoles expérimentaux prévoyaient des simulations de pluies dont les caractères seraient proches des précipitations naturelles, prenant en compte notamment les courbes d'intensités-durées (BRUNET-MORET, 1963a et b). La durée de chaque pluie simulée n'excédait pas celle de la pluie décennale, la même règle étant appliquée pour les hauteurs de pluie journalières. Au cours de ces campagnes de simulation, aucune parcelle n'a reçu plus d'eau que la hauteur moyenne interannuelle. Les premières pluies appelées ci-dessous "dry runs" ont eu lieu en saison sèche. Les pluies suivantes ont été simulées après des temps de ressuyages variant entre 0,25 et 60 heures ("wet" et "medium wet runs").

Résultats

Les valeurs minimales d'intensités d'infiltration (f_c) enregistrées lors de l'obtention des régimes permanents d'infiltration et de ruissellement ont été reportées en fonction des intensités de pluies (i). Au cours des premières pluies, le ruissellement n'est apparu à Oursi, ni sur la parcelle sarclée, ni sur la parcelle cultivée (fig. 1a et b). En conditions plus humides, f_c est resté indépendant de i sur la parcelle nue où s'est formée une pellicule de battance ; une fonction linéaire croissante $f_c = f(i)$ a, par contre, été obtenue sur la parcelle couverte. A Galmi, le ruissellement est apparu dès les premières pluies sur les deux parcelles. Aucune relation entre f_c et i n'a pu être obtenue dans le cas de la parcelle naturelle recouverte d'une croûte de battance. Comme pour les autres exemples, plus le sol est initialement sec, plus la valeur de f_c est grande, mais les variations restent ici très limitées (fig. 1c). Dans le cas de la parcelle billonnée suivant les courbes de

EFFECT OF RAINFALL INTENSITY ON MINIMUM INFILTRATION CAPACITY



niveau, f_c peut être ajusté par contre à une fonction linéaire croissante tandis que i_1 varie dans un grand intervalle selon les conditions hydriques initiales (fig. 1d), i_1 étant défini comme l'intensité minimale de pluies nécessaire à l'apparition du ruissellement, i.e. l'abscisse du point d'interception de la droite d'ajustement f_c et de la première bissectrice ($f_c = i$).

Discussion et rappel théorique

Les résultats présentés ci-dessus sont en contradiction avec ceux des travaux précédents (Nassif et Wilson, 1975 ; Johnston et al., 1980) selon lesquels il existe une relation étroite entre f_c et i ; ils confirment par contre un modèle peu connu (LAFFORGUE, 1977) qui peut être résumé comme suit.

Soit, pour chaque point de la parcelle, une capacité d'infiltration minimale f_c dépendant non pas de l'intensité de pluie mais des conditions hydriques initiales. Soit $p(i)$ le pourcentage de surface du sol où $f_c < i$, la fonction de répartition $p(i)$ étant supposée connue. Deux valeurs de i , i_1 et i_2 peuvent être définies comme suit :

- $i < i_1$, $f_c = i$, et alors $p(i) = 0$

- $i_1 < i < i_2$, le ruissellement n'apparaît que sur certains points $p(i)$ est une fonction croissante de f_c et :

$$r(i) = \int_{i_1}^i p(i) \cdot di \quad (1)$$

$$f_c(i) = i - \int_{i_1}^i p(i) \cdot di \quad (2)$$

où $r(i)$ est l'intensité maximum de ruissellement, fonction de i .

- $i > i_2$, chaque point contribue au ruissellement $p(i) = 1$ et :

$$r(i) = \int_{i_1}^{i_2} p(i) \cdot di + \int_{i_2}^i p(i) \cdot di \quad (3)$$

$$r(i) = r(i_2) + i - i_2 \quad (4)$$

alors d'après Eq. (1) et (2) :

$$r(i) = i - f_c(i_2) \quad (5)$$

et

$$f_c(i) = f_c(i_2), \text{ i.e. une valeur constante} \quad (6)$$

Si l'on applique ce modèle à un sol recouvert d'une pellicule ou d'une croûte de battance dont la capacité d'infiltration peut être considérée comme limitée et homogène, c'est-à-dire avec des valeurs proches et faibles de i_1 et de i_2 , la fonction de répartition $p(i)$ exprimée sur ce petit intervalle, $i_1 < i < i_2$, peut être ajustée à une fonction continue et uniforme (fig. 2a) :

$$p(i) = \frac{i - i_1}{i_2 - i_1} \quad (7)$$

d'où d'après Eq. (2) :

$$f_c(i) = i - \frac{(i - i_1)^2}{2(i_2 - i_1)} \quad (8)$$

et quand $i > i_2$, d'après Eq. (6) :

$$f_c(i) = \frac{i_1 + i_2}{2} \quad (9)$$

il vient ainsi, pour des surfaces homogènes :

$$i_1 = i_1 \text{ et } i_1 = i_2, \quad f_c(i) = i_1 \quad (10)$$

Il est plus fréquent cependant de rencontrer des distributions bimodales (fig. 2b), par exemple dans le cas de parcelles partiellement couvertes ou de champs billonnés. Alors, en appliquant Eq. (1) :

$$i_2 < i < i'_1, \quad r(i) = \int_0^{i_2} p(i) \cdot di + \int_{i_2}^i p(i) \cdot di \quad (11)$$

$$r(i) = r(i_2) + p(i_2) \cdot (i - i_2) \quad (12)$$

d'où

$$f_c(i) = [1 - p(i_2)] \cdot i + [p(i_2)] \cdot i_2 + f_c(i_2) \quad (13)$$

or : $1 - p(i_2) = k$, avec k = pourcentage de surface correspondant au mode le plus important. Ainsi :

$$f_c(i) = k \cdot i + k \cdot i_2 + f_c(i_2) \quad (14)$$

Dans le cas où le second mode est bien plus grand que le premier, $f_c(i)$ peut être ajusté à une fonction linéaire croissante (fig. 1b) pour $i_2 < i < i_1$, c'est à dire dans l'intervalle des précipitations naturelles.

Conclusions

Les essais au champ visant à tester la validité des modèles théoriques font notoirement défaut et mériteraient davantage d'attention. Les résultats expérimentaux confirment bien la validité du modèle présenté ci-dessus ; celui-ci s'est avéré également valable pour d'autres sols aussi différents que ceux situés aux confins du sahara (Collinet et *al.*, 1980) ou sous les Tropiques humides (Sud de la Côte d'Ivoire ; Lafforgue, 1977). En bref, quels que soient les sols, l'effet de l'intensité de pluie est étroitement lié au degré d'hétérogénéité de la surface du sol.

Références bibliographiques

J. ASSELINE et C. VALENTIN, 1978

Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion.

Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol., 15 (4) : 321-349, 16 fig., 18 réf.

Y. BRUNET-MORET, 1963

Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale :

a) République de Haute-Volta. ORSTOM-CIEH, 23 p., 16 fig.

b) République du Niger. ORSTOM-CIEH, 15 p., 16 fig.

J. COLLINET, C. VALENTIN, J. ASSELINE, M. HOEPFNER, P. HARANG et Y. PEPIN, 1980.

Ruissellement, infiltration et érosion en zones sahéliennes et subdésertiques. Etude LAT 03. ORSTOM/DGRST. 36 p., 13 fig., 14 réf.

G.F. GIFFORD, 1967

Applicability of some infiltration formulae to rangeland infiltrometer data. Journal of Hydrology, 28 (1) : 1-11, 3 fig., 10 réf.

G.F. GIFFORD et R.H. HAWKINS, 1978

Hydrologic impact of grazing on infiltration : a critical review. Water Resources research, 14 (2) : 305-313, 5 fig., 37 réf.

A.Y. HACHUM et J.F. ALFARO, 1978

A physically-based model to predict runoff under variable rain intensity. Transactions of the ASAE, 21 (3) : 500-504, 509, 2 fig., 14 réf.

H.T. JOHNSTON, E.M. ELSAWY et S.R. COCHRANE, 1980

A study of the infiltration characteristics of undisturbed soil under simulated rainfall. Earth Surface Processes, 5 (2) : 159-174, 11 fig., 34 réf.

A. LAFFORGUE, 1977

Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Hydrol., 14 (4) : 299-344, 31 fig., 21 réf.

S.H. NASSIF et E.M. WILSON, 1975

The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration. Hydrological Sciences Bulletin, 20 (4) : 539-553, 11 fig., 5 réf.

N. P. SWANSON, 1965

Rotating boom rainfall simulator. Transactions of the ASAE. 8(1) : 71-72, 3 fig., 4 réf.

C. VALENTIN, 1979

Problèmes méthodologiques de la simulation de pluies. Application à l'étude de l'érodibilité des sols. Actes du Colloque de Strasbourg. Univ. Pasteur/INRA. 117-122, 3 fig., 26 réf.

Anonyme :

C.P.C.S., 1967

Classification des sols. ENSA Grignon, 96 p.

F.A.O., 1968

Définitions of soil units for the soil map of the world. 72 p.