Variabilité du eon1portetnent hydrodynatnique des sols selon

trois états de surface caractéristiques du Sahel hurkinabè

##### Lamourdia Thiombiano', Jean-Pierre Delhoumc ',Yves Degoumois'"', Robert Gathelier"\ Guénéba Bakiono·, Oumar Kaboré"

Résumé

Trois états de surfm;e du sol. caractéristiques du milieu sahélien burkinabè, ont été identifiés dans le nord du pays. Il s'agit des surfaces de type croûte d'érosion (Ero). graviltonnaire (Gra) et sableux (Sab). Afin de caractériser le fonctionnement hydrodynamique de ces états de surface, trois méthodes ont été utilisées : la simulation de pluies. le double anneau de Müntz et l'infiltrométrie à disque de type TRIMS. Quelle que soit la méthode utilisée, il existe une différence de comportement hydrodynamique très nette entre. d'une part. les états de surface de type Ero et Gra, et. d'autre part, l'état de surface de type Sab. En fonction de l'intensité pluviométrique, l'infiltration est de 3,5 à 25 fois plus élevée pour J'état de surface Sab comparativement aux deux autres états de surface. Le ruissellement est 2 à 5 fois plus fort pour les

états de surface Ern et Gra. comparé à celui de rétat de surface Sab. Les valeurs de la sorptivité et de la

conductivité hydraulique obtenues selon la méthode TRIMS sont respectivement de 14 à 25 et de 45 à 49 fois plus importantes pour les sols à état de surface Sab en comparaison avec les états de surface Ero et Gra selon la méthode TRIMS. Ces résultats montrent que les placages sableux sont des milieux potentiels de stockage hydrique tandis que les états de surface gravillonnaire et d'érosion apparaissent surtout comme des milieux de transit pour les eaux de ruissellement superficiel.

Mots-clés : états de surface. fonctionnement hydrodynamique, Sahel burkinabè, méthodologies.

## Abstract

Three mains subsmfaces types are identified in Katchari site in the sahel zone of Burkina Faso : erosion crust (Ero). gravels (Gra) and sandy (Sab) subsurfaces. The characterization of the hydrodynamics pro­ peJ1ies of these subsurfaces is realized by tree methods : rain simulation, Müntz method and dise infiltrome­ try (TRIMS). The results obtained show clear distinction of sandy subsurface hydrodynamics properties com­ parative! y to the suhsurfaces Ero and Gra. independently to the method used. The infiltration is 3,5 to 25 ti me more important in the subsurface Sab in comparison with the values obtained for Gra and Ero. The runoff is 2 to 5 time more important in the Ero and Gra types compared with Sab type. Regarding sorptivity and hydrau­ lic conductivity. the values obtained by TRIMS method. are more important in the sandy subsurface. These values are respectively ranging from 14 to 25 and 45 to 49 time more important than the values of gravels

\* !NERA. *04* O.P. 8645. Ouagadougou. Burkina Faso.

\*\* IRD (c.x-ORSTOMl. 01 U.P. 1 H2. Ouagadougou. Burkina Faso.

"'"'\*École polytechnique fédérale *de* Lausa11nc. Suisse.

\'ul. 24, 11° 1-Jatwier-juln 2000, *Sciem·e et teclmiqtœ,* Sciences naturelles et agi'Onomie

1111d cru11l t'l'li!'. Inti Hli!IUt(Hcél!. ThfM 1!4!Vcrnl fè!Ult lndlcnté thtlf the 11Mdy ttreu!l huv 11 high potenH1tl of 11tet

h!ln-ttlllll1y, Wht'l1l'flfllltd ittld f!I\'Ctii!!!Ubl!llff!ICè8 Ltppèitf !11111 fflitiiiÎf ilfltil !tf tutloff W!lfff,

**Introduction**

L11 t.one e111i-urlde du Surklnu Paso, communimettt üppelée Suhel burkinubè. t&t "amu:térisée pur w1e dégrndutltm Jévêre dts cosyltimes, due A l'lmpa t de& a'tivlté& humaines et aux défkit pluvinmétrlque11 ob8ervés depuis les attnies sobumte·dlx (CHEVALLtBR *et a/,* 198' , THtOMBlANO *et tt!..* 1996). Cette déaradatlon ctrm:eme enpartl uHer ls :ouverture v'iétale dont l'exten inn !lf'l1thile et la den5ité ont notablement diminué au cour J de t dernière& décennie&. C'eth réduction de la prote tloo du toi par tu vdaétatlon u favorl&é lea proçe&!lll& d'érosions hydrique et éolienne *et u* ccmtrlbué A la formation de différeNts type& d'état de &urfa'e du &ot C'eux ..cl ont é:té décrit& en tone &llh.illenne (CASSNAVE et VALENTIN. 1989) et ont fait 1'o jet de me ure& concernant leur fonctionnement hydrodynamique par la tei:hnique de simula· tlon de pluie (LAFPOROtm *et tt!.,* 1976), noutmment dans le S1hel burkinabè (ALBBROSL et BERNARD. 1984 ; ALfli:!,ROfJL, 1987; rtmVALLtl:!,k, 1982). Ces tne11Ures ont montré une différ mclrttion notable du rapport rul&sellement/infiltratlon selon le type d'état de surftu:e.

repcmdunt. peu d'étude!t comparutlve8 du comportement hydrodynamique de!! sols. en fom:don de leur type d'étal de &urface utilisant simultanément diverses techniques de me&ure, ont été efftctuées. Or. étant do11né que la différenciation des pêdopa)'&age& du Suhel hurl\inubè est fonc·

tlo11 du type d'étut de Mlffatè (TH10MStANO *et tt!.•* 199(1), n est üppsru né e!l!lilÎre de mener

une telle étude afin *dt* mieux comprendre lu dymtmlque des paysages et de proposer des

## méthode11 de rë&tuuratlon du milleu.

l'oUI' Cè ral!·e. liMe étude de!! parsmêtrel! hydrodynttmltjUCI! de trOÎ!! étatt! de t!Urfacc, caructéris­ tiquet du Sahel hurNinnbè. u été menée én utillsal1t trois techNiques : la llimulution de pluie&, le double u1111enu de MUntz et l'lnfiltromètre h dl&que trRtMS), L'étude • été menée en milieu

#### !!tthélien du Hurklmt Pu8o. duns lu sttttlon 1NgRA de t<utchuri (t4''00'20''N. ooo2' 0"WJ,

lo,ullstte tt 12 km ft l'oue11t de Oorl.

**Matériel et méthodl!8**

Lu q<lfion de Kah:hill'i t.'f't llllt!t:• en zune clirmttiqul' dl' tyrr r.uht'lirn (SIVAJ\1 1MAR et ONotrMotr. I11X71. l.u pluvlot11t1tdc nmyl'nttc lltlti!Je!l .· dr - s .'' tflfn *(* l9hi-IIJ9Cn; elle c t lïll'at'h'ri l'l' p;tr tilH' fnrk \ ariahillt ll11éi111111Ul'lh.' (wdlïriL·tll lk \'al·iutinn t.h.• 24 *'ii* l : 2(1{J 111111 1'!1 I'IK7 1..'1 74H 111111 1'!1 *1%: .* Lt i\!!11f!l!lïttut·t• 1110)'1..'11fll' inmt1ali l'l' \ Hl'it' l'flirt.• Utl mi11Îtnu dt!

.·t

*:: .1* < ·. priiJcipui('IJH'lll L'Il d '<'t'111hl't! 1!1 jull\'Îl'l. el 1111 lllii'dlllil 1k -4.:.1 '(' dunml IH pt!riodt.• ûc

mars à mai. Le tuux d'humîdit4 *ttmtive* tl"'tue *dt* 3, % â o %. La vitttlt moyenaw du ventJ

est de 1m/s avec d€s valt!Uts pouvant Whtâttt l6m/s.

La station d'étude. d'une supètflcit de l6lta, elt lociiUIU sut Ut1Jgf i1 *dt* 2.4 km de lottgu.wr. Dans la moitié amont du glads, la topogtaphit t1t pllittt avu utttt *pttltt* d.hülrtWltlt ptogmtive- · melll de .3 ù l *'IL* alo1·s qU 1ll lnÎ•V6tiJ111t appü.tllft Ufi tttfcfO-ttUtf 8001 fotmè de f'diktJ buite1 sableuses d'ot'igine éolitnne. Cellts l. qui 11t dqaiWHt pat (fU dè hstüttüt. rortt t à des placage" discontinus d,atHï fl€tp tt qui *ù teüdènt* JUt quelqutJ tlljtttïl plu•jg«tt mUlitr1 de m€tres can s. Ce 1t1od lé de la IIUtfau, fliÇOI1M au roüta d.u Quattfflllitt. tlt aractSrillktut de 1 Wllè · flili ntts (PIJLHOUMB *et al.,* 1991).

Les formatlo111 i loJiijUèï. ttmt ottttituh• d'otthoaütill *a* dt migmltitt l amphibolè• d à biotite diJ Vtk$ltttbti'fl *htfM'ièur.* C.• ntlt daux *ont donnt* WlÎI A dès *101• ltmialn.mx* ttopkau)l; induttit ou 0011 *qui IUptmt* ft -ure piittilt dü pa.)'lliJt èfl ul gt *il!* gla.ds, En haut de \'atsant, Ils rmt &t iJlud ftJ UdttMOit Jut' Uftllltit .ltoü'lü\*• bu lW Jlacit

se sont dé\'sloppét dt& tàft Drunt *ttutf. ,u* •.,êiUÎt ••aol1 hydt .

La \'.Îg4tatiotl ètt unè ttgpl'l ariw"t.,; *tVU UM MU* de*Acm:fa mdôfmm* (10 % du ttombre d'eapèGes), *lA* taPi• httb j A *lclw t /tldltJ lfllt!lllï C nchfttl bljt(Jfttl, Patticum lnetum,* se dévtdoppg pfin,ipafsm.ïltt *IUt* lapfMJJU A de ttcOOvtltlitnt du

-ANI\_,.\_

•of ds *10 h* 10 % *sn* tldtwt phwt;uw. · ·

Trot• typ'' *d'4tst th sud tt du* tt f, *dhrlt•* ;;kJH k tMHt ;, *Ml141# pu* CAIIWA\18 gt VALBNTtN (1919), oot êtA .Uü4W• (0tiLHOUMa *al.,* t lTHJOt,fltANO et OlANOU, lM8):

--un dtat d@ turf U:€ dB t;' ,,.d'NOtion (Ufo), Pif..,. J Jit *a unt*

..

'u'n.,td;•,d,u toi. *c* t JN d',ut •tUrfMi *ut* Il 44WW *sn* •type dl#l&kUlt

- tm 4tltt dt surftt e •ttpg •tAwHloomdre <Ott) AtM tthaié pM *am dt* gttvler• tMtu­ Jit Bu• !! 'flUU1Ut-Jl fiWUUVfit l *iüt'ftoo* 00 À 10 % dt flliü'flû du ttJ1 U *ut* ptitttipakmtèttt '' *prllduu* ••4totioo• *ht4rique et* U-.M *dït* t)',\_ *4i«MMdd*

,.. *un ii.JJt* dB *;u àes lhf"si0W4 •Ut un mstiffl•u d'<WI;:i•* ..,,...(. J *db* •*Mvtlop-­* pgm de• uo4)t • di! *•urflfl t, ttJtt û* M Sàlién, Dit *dt* .,\_'" ·loOk llt$tWttit A dtut mittt4Y"hm'lwn•,

LB• *stttuttirletlqtijs* dg fJt *•Ut($litl* de h. Wu«è IÙt trait ,\_"''"· NJUmlfù aux *d.lîf*

*·urs• tctm - réastttlt•* dsme *lt tlfl.tltMU* f - *ur m -* ttf.H'c»ftdte A t'aide ctu

lolltl«tl StJllFafl (\'ttralon J,O)I *e•t rt,wt.,ttfh.* sut tJ *ft;:utt 1.*

zone amont du glacis (surfAce plane, pas de rugosité

placages sableux 6oliens (microrelief, rugosit6 de la mrfau)

Figure n°1 : Microtopographie de la zone médiane du glacis du s e de Katchari

to Vol. 24, n° 1-Janvier•juin 2000, *Scie1zce et tee/mique,* Sciences naturelles et agronomie

Tableau **1.** Compn11ition dé la l'!lll'fH 'è du 110! des lt'l1t > parc llè!i lt•t1 fl!lUI'ccntu c de la !IUffttce en projec­

##### tion Vèrtkule),

È:-tt:t---d=é-·s·urf-a -·e P omtc ( 1AlS,tnûtc d'émsion GntVÎèfS t'ai lioux véa6wtion Sable libre

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ew | 0.7 | 100.0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ont | 0.9 | 17,5 | 79.5 | .0 | 0 | 0 |
| Snb | u | 0 | 0 | 0 | 7,0il\* | 93.0 |

<il'tt\'lt!t'S : ju ttu'à nn : l.'ltlllou : plu tic 4:'111 : lu vg Hl!tttinn t:'01Tt' f"!ll1tl lt Jg tit c de ttrami!l è : ltt 11ahlc llhi't' t:'orrt' f!oHd h uni! surftt :c tnèuhk non n1m·ttuniséc t>n une pèllkttlè up trfklèlk

il! ltts t'f'iHniH nm tH fait t'tl nbün 1:-l.'hè nprè urpfitmatte. &ti qui t!Xplitj\111 l" l'uiblc tnux de re :ouvrcmt'IU végétnt

**Méthodes**

### te fonctionnement hydrique de ces trois états de surface a été caractérisé par trois méthodes : la simulation de pluie. le double anneau de MÜNTZ et l'infiltrométrie à disque de type (TRIMS).

**La simulation de pluie**

### L'appareil utilisé est un infiltromètre à aspersion (ASSEtlNE et VALENTIN, 1978) qui réalise des pluies dont les camctéristiques sont semblables à celles de la pluie naturelle. Pour chacun des t1·ois états de surfacé ci dessus, une parcelle de 1 *mi,* délimitée par *un* cadre métallique enfoncé dum le sol. reçoit des pluies d'intensité et de durée connues dont on mesure te ruissellement produit. Quatre types de pluie ont été réalisés successivement pour chaque état de surface, depuis les plus fortes intensités observées chaque année dans la région. jusqu'aux faibles intensités :

130. 90. 60 et 30 mm/h. ta première de ces pluies a lieu sur sol sec, et les suivantes sont effec­

tuées sans déplacement de l'appareil. après 30 à 60 minutes de res11uyage entre chaque averse. Le!i trois dernières pluies ont été par conséquent réalisées sur le sol humide dont l'état d'humectntion était très proche de lu saturation en surface. Chaque avene a été prolongée jusqu'à obtention du régime permanent d'écoulement qui correspond, pour une intensité de pluie donnée. à un ruissellement constant et maximum et. corrélativement, à une infiltration constante et minimale.

Pour chaque pluie simulée. les paramètres suivants sont déterminés : intensité de la pluie (1, en mm/h). hauteur d'eau précipitée (H. en mm). hauteur d'eau infiltrée avant que ne 11e déclenche le ruissellement (Pi. pluie d'imbibition. en mm). quantité totale d'eau infiltrée (Li. en mm). quantité totale d'eau ruisselée (Lr. en mm).

Le t'égime d'écoulement pct·munent a été cat·actél'isé, pow· une pluie d'intensité donnée, par l'inti:.'nsité maximulc de t'Ui!lsellenmnt (Rx. en mm/h) et par l'intensité minimale d'infiltration

(Pn. en mm/h). ces dèux pammètres obéissant a la relation suivante : 1;;;; Rx + Fn. La conducti;

vit hydmulîque a stttw·ation du sol (Ks. en mm/h) a été déterminée pat· lu méthode graphique

(AL13EROEL *N* a/..1986).

u

**La méthode du double anneau de Müntz**

#### La m thode de MÜNTZ a été utilisée pour mesurer la vitesse d'infiltration à hauteur d'eau variable sur sol mouillé. Les mesures ont été effectuées sur les trois types de sutiace (tableau I. figttrl!s **1** à 3). 24 heures après avoir réalisé les simulations de pluie. Trois jeux de cylindres de diamètres différents ont été utilisés pour la mesure de l'infiltration au niveau de chaque type de surface. Les lectures ont été effectuées après 5 mn. 15 mn. 30 mn. 60 mn de durée d'infil­ tration. ce qui permet de calculer une vitesse d'infiltration (Vi) cotTespondant à une conductivité hydraulique à saturation sous charge d'eau. La mesure de l'humidité du sol a été effectuée par la méthode pondérale. sur échantillon de sol (saturé après simulation de pluie) prélevé à l'aide du cylindre de Siegrest. et séché à l'étuve à 105 "C.

**L'infiltromètre à disque (TRIMS)**

L'approche à une échelle très fine de l'infiltration hydrique, à travers les organisations pelliculaires superficielles (OPS). a été réalisée en utilisant un infiltromètre à succion ou à disque du type TRIMS, (SMETIEM and CLOTHIER. 1989 : VAUCUN et CHOPART, 1993). Dans le présent travail. le disque utilisé a une surface de 50 cm . la succion étant maintenue par un vase de Mariotte. à

- 100 m.n d'eau au niveau de la membrane. Les paramètres mesurés sont le potentiel matriciel et la sorptivité. paramètres liés aux écoulements capillaires.

L'humidité relative a été déterminée par pesée d'échantillons prélevés sous le disque, à la fin de chaque essai. La densité apparente du sol est déterminée de la même manière en ajoutant la mesure volumétrique de l'échantillon prélevé à l'aide de sable calibré.

La conductivité hydraulique (Ko) est exprimée en mn1/h, tandis que la sorptivité mesurée (So) est exprimét en cm/s:. Au total. 17 mesures ont été effectuées sur les trois états de sutface en prenant en compte le niveau d'impmtance des micro-variabilités des organisations pelliculaires superficielles (OPS) au niveau des parcelles : 6 essais d'infiltration pour la surface Ero. 6 pour la surface Gn.t et *5* pour la surface Sah. Le calcul des paramètres hydrodynamiques à partir des cumuls d'infiltration est basé sur les relations et la théorie suivantes.

L'infiltration à t:apacité sur un sol sec donné est définie par une valeur standard So. La relation exprimant sa diminution avec l'augmentation de la teneur en eau initiale est généralement linéaire de type

##### (!)

En partant de 1\!quution de diffusion non linéaire. il est possible d'aboutir tl l'expression du

\'olume infiltr a:xisymétriquemcnt depuis un disque (SMETTEM. 1994) :

 (2)


#### y Jtant une const;mte propnrtionnclk ct rd le rayon du disque mi en contact ah'1.: k ol.

Il Yul. 2-t. n **1** -.Jan' Îl'l'·.iuin 21Hltl, *Sdenc·c·* 1'1 *ted111ique,* Sdt'lll't'" naturl'lh- t'l a t·onumil'

Sur la base de la formulation analytique de l'infiltration mono-dimensionnelle en conditions non saturées. divers auteurs PARLAN GE ( 1982) : HAYERKAMP ( 1994) proposent:

20 1

l:m = S0tll2 + K11 + . yS

+ :;- (K0 K11) (2 ) t (3)

Iu(8o-8n) J

Kn étant la conductivité hydraulique initiale. Ko celle à la charge de pression imposée et le paramètre de forme formulé FUENTES ( 1992). De manière plus synthétique, il est possible d"écrire:

1

-= S0 +(A+ *B)* vf

## vf

##### (4)

Afin d'éliminer l'influence des valeurs deI par la couche de sable de contact il eSt préférable de discrétiser les valeurs de cumul en fonction de la racine du temps, plutôt que de travàiller sur les données cumulées. Une régression linéaire peut être calculée sur les points, permettant d'obtenir la sorptivité, en ordonnée à l'origine.

Ill al

-= -=S+2(A+B).J

llvf M

(5)

La sorptivité peut être reliée au potentiel matriciel (WHITE et SULLY, 1987) par:

 (6)

où b est un facteur de forme de la diffusivité capillaire, estimé à 0,55 par SMETTEM et CLOTHIER (1989). La conductivité hydraulique à été calculée à partir des valeurs de potentiel matriciel et du flux stable d'infiltration :

pour rof).. ::::;2. PHILIP ( 1957) propose :

*L\K* 4Àc

. (3.44 + -)

(7)

rrr2d 11:

rrr

avec l'échelle de longueur macroscopique *:* (8)

rJ

ainsi nous obtenons *:* Ko=

l.21 <Po

(9)

**Résultats**

**Pluie d'imbibition (Pi)**

Pour des pluies se produisant sur un sol initialement sec et pour une très forte intensité ( 130 mm/h). la surface de type Sab emmagasine une hauteur d'eau Pi de 19 mm avant que ne se déclenche le ruissellement. Dans les mêmes conditions. Pi ne dépasse pas 4 mm pour les deux autres types de surface.

Lorsque les pluies se produisent sur un sol saturé en surface. Pi varie entre 1 et 2 mm seulement pour les surfaces Ero et Gra, quelle que soit l'intensité pluviométrique, tandis que Pi augmente de 3 à 8 mm pour la surface Sab lorsque l'intensité de la pluie dimi­ nue de 96 à 35 mm/h. C'est que le ruissellement débute presque instantanément avec le début de la pluie pour les surfaces Ero et Gra, alors qu'il est différé pour la surface type Sab.

Les sols à surface de type Sab stockent ainsi une partie importante de la pluie en début de chaque averse avant que ne se déclenche le ruissellement, et cela. d'autant plus que le sol est sec et que l'intensité pluviométrique est faible. À l'inverse, les sols à surface de type Ero et Gra se mettent à ruisseler très rapidement, quels que soient l'intensité de la pluie et l'état d'humectation initiale du sol. Etant donné que la plupart des pluies naturelles de la zone sahé­ lienne se produisent sur un sol initialement sec, c'est donc une proportion notable de la pluie qui s'emmagasine ainsi dans le sol à surface de type Sab avant que ne débute le ruissellement, alors que les sols à surface de type Ero et Gra en accumulent beaucoup moins dans le même temps. Cette capacité du milieu de type Sab à stocker une fraction notable de la pluie dès le début de celle-ci le différencie nettement des deux autres milieux.

**Fonctionnement hydrique**

Sous pluies simulées, le régime d'écoulement permanent qui correspond à J'équilibre entre le ruissellement (Rx) et l'infiltration (Fn) pour une intensité donnée s'installe de manière très différente entre la surface de type Sab et les deux autres types de surface (Tableau II). Pour ces deux dernières, Fn est extrêmement faible, quel que soit le type de pluie. ces deux milieux n'infiltrant qu'une très faible proportion de l'eau précipitée. proportion qui augmente très

légèrement (de 3 à ll %de la précipitation) à mesure que l'intensité de la pluie décroît. A

l'inverse. la surface sableuse absorbe une proportion importante de la précipitation (41 %)

même si l'intensité pluviométrique est forte, et cette proportion e&t très élevée (83 *c7c,)* aux faibles intensités.

Durant la pluie. la swface de.type Sab permet un stockage important de l'eau dans le sol. contraire­ ment aux deux autres états de surface. Ces demiers apparaissent ainsi comme des milieux très favorables au ruissellement. alors que la surface du type Sab est beaucoup plu!\ propice à lïnfiltnt­ tion. Ce sont deux fonctionnements hydriques et deux dynamiques de l'eau Jans lt:! paysage qui s'opposenl. l'une à dominante ve11icale dans les sols à stnface de type Sah. l'autre à dominante ho1izontale dans les sols à surface de types Ero et Gra.

14 \'ol. 24, 11° 1 -,l:tm·it•r-juin 2000, *Scieuc:e et technique,* Sdenn•s natun:llt•s l'l agronomie

**Tableau Il.** Caractéristiques des pluies simulées en régime d'écoulement permanent sur sol saturé plmr les trois états de surface.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Etat dt: surfaœ | I (mm/h) | Rx (mm/h) | Fn (mm/h) |  | Fn/I (*(;o* |
| Ern | 89.0 | 86.4 | 2.6 |  | 2.9 |
|  | 57.6 | 55.5 | 2,1 |  | 3.6 |
|  | 32.0 | 30.0 | 2.0 |  | 6,2 |
|  | 60.0 | 55.4 | 4,6 |  | 7.7 |
|  | 33.6 | 29.8 | 3,8 |  | 11.3 |
|  | 65.4 | 31.1 | 34,3 |  | 52.4 |
|  | 35.0 | 5.8 | 29,2 |  | 83,4 |
| l intensité de la pluie. |  |  |  |  |  |

Rx intensité constante de ruissellement à régime d'écoulement permanent.

Fn =intensité constante dïnlïltration à régime d'écoulement permanent.

**Caractéristiques hydrodynamiques**

Le tableau Ill résume les principales caractéristiques hydrodynamiques des trois états de surface obtenues avec les trois méthodes de mesure.

La conductivité hydraulique. calculée à partir de la simulation de pluie et par la méthode TRIMS. est extrêmement faible pour les surfaces Ero et Gra (2 à 3 mm/h en simulation de pluie. 4 à 7 mm/h au TRIMS). alors qu'elle est de 9 à 25 fois supérieure pour la surface type Sab. Les valeurs plus fortes obtenues au TRIMS s'expliquent par le fait que les essais ont été réalisés sur un sol préalablement sec et pour un potentiel hydrique de 100 mm. alors qu'en simulation de pluie. la conductivité hydraulique est celle du sol saturé en surface.

Avec la méthode MÜNTZ. la vitesse d'infiltration est nettement supérieure aux conductivités hydrauliques obtenues par simulation de pluie et par TRIMS, ce qui est inhérent à la méthode elle-même: il s'agit en effet de l'infiltration« forcée» d'une lame d'eau. Cependant. les valeurs obtenues avec la méthode MÜNTZ montrent la même hiérarchisation des trois états de surface

\·is-à-\·is de l'infiltration par rapport à celle obtenue avec les deux autres méthodes. La technique

MÜNTZ. malgr une divergence dans l'approche méthodologique. fournit des résultats cohérents par rapport à ceux obtenus avec les méthodes TRIMS et simulation de pluie. même s'il en sont très différents en valeur absolue.

**Tableau III.** Caractéristiques hydrodynamiques des trois états de surrace lk'tenninél' selon les trois méthodes.

Etat de surface

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ks simulation de pluie | K-100 Trims | Vi Müntz | s,lrpti\ité |
| (mm/h) | (mm/h) | (mm/hl | lem/ |

Ero

·---·-

2.0 *3.8* (1.3) lR.O ().00-l ( ().()() 1 )

Gra *3,0* 6.5 *(* 1.2) *27.0* 0.0 10 tO.O(J.i)

Sab 28.0 96.5 (58.8) 63.0 0.096 tO.Ol'\-l)

Ks : conducti,·ité hydraulique ii saturation déterminée par simulation de pluie.

**K.J()O:** conductivité hydraulique ii- 100 mm d'cau de succion (méthode TRI!v!S).

Vi: vitesse d'infiltration mesurée par la méthode MÜNTZ Sorptivité déterminée par la méthode TRIMS (entre parenthèses . écan-typc).

Les fortes variations des valeurs de la sorptivité (So, coefficient de variation de 87 %) et de la conductivité hydraulique (K lOO• coefficient de variation de 61 S1.) obtenues par la méthode TRIMS sur le milieu sableux s'expliquent par l'existence d'une hétérogénéité de l'état de surfa­ ce qui présente localement des zones légèrement encroûtées ou au contrait\? un aspect friable. Par ailleurs. de tels tests d'infiltration sur une surface réduite de 50 cm' engendre, lors des r pétitions, une plus grande variabilité que pour des essais réalisés sur un mètre carré. Cependant. l('s 'aleurs de la sorptivité et de la conductivité hydraulique. obtenues lors des 17 essais TRIMS. t: regrou .. pent en trois ensembles nettement différenciés les uns des autres. chacun d .: ces ensemble . correspondant à chacun des trois états de sUJface étudiés. Les valeurs moyenne de sorptivité et de conductivité hydraulique obtenues sont donc significativement différentes pour ces trois type de surface.

La comparaison des valeurs obtenues par simulation de pluie et par TRIMS ne nous permet pa de vérifier la relation de type exponentiel entre la conductivité hydraulique et le potentiel

hydrique telle que définie par GARDNER (1958) : K = Ks exp (ah). La relation exponentielle

entre la conductivité hydraulique et le potentiel hydrique devant être croissante. les différences

observées entre les mesures de conductivité hydraulique sous pluies simulées et celles sous une dépression de- 100 mm ne s'expliquent pas au travers de la théorie. Elles traduisent plutôt une divergence des approches. En effet. l'utilisation du TRIMS s'appuie avant tout sur la valeur de la sorptivité. valable pour un potentiel hydrique précis et dans des conditions d'humidité ini­ tiale ct finale connues. Sur la base de ces résultats, la conductivité hydraulique est déduite des valeurs du flux stable d'infiltration. Cependant les valeurs obtenues par les deux méthodes sont du même ordre de grandeur et elles« classent» de la même manière le trois états de surface.

# Discussion

Les trois méthodes retenues pour caractériser le comportement hydrod) Hamique d..- trois t) p..-s d'état de surf<Ke caractéristiques du milieu sahélien donnent des n.? ullah ç,,h •.;r,'nl" entre CU\. En effet. malgré une variabilité plus ou moins impmtantl.:' de 'akur d ·" p< ram0tre,

hydrodynamiques pour un même état de surface en fonction de la méthode. ces valeurs diffé­ rencient nettement ks trois types d'état de surface k:s uns des autres. Quelle que soit la métho­ de utilisée (simulation de pluie, MÜNTZ ou TRIMS).les trois surfaces se classent selon le même ordre vis-ù-Yis de la capacité d'infiltration du milieu : celle-ci, très faible pour la surface à croüte d'érosion, croît très légèrement lorsque l'on passe à la surface gravillonnaire, puis ensuite elle augmente notablement pour la surface de type sableux. La croûte d'érosion et la surface gravillonnaire ont un comportement hydrodynamique voisin, lequel est très nettement différent de celui de la surface sableuse. Ces résultats sont conformes à ceux obtenus dans une autre zone soudano-sahélienne du Burkina Faso (DEGOUMOIS *et al.,* 1996).

Deux modes de fonctionnement hydrique au niveau de l'interface sol-atmosphère, très différents J'un de l'autre, caractérisent le milieu étudié. D'une part, un fonctionnement où les flux hydtiques sont essentiellement verticaux du fait d'une bonne conductivité hydraulique et d'une vitesse d'infiltration élevée du sol. Ce type de mécanisme, favorable à l'infiltration, est caractéris­ tique du milieu à surface de type Sab. D'autre part, un fonctionnement où les flux hydriques sont essentiellement horizontaux du fait d'une conductivité hydraulique très faible et d'une perméabilité réduite de la partie superficielle du sol. Ce type de fonctionnement, favorable au ruissellement, est caractéristique des sUifaces de type Ero et Gra. Ces observations sont tout à fait confonnes à celles d'autres auteurs. comme HILLEL (1974) par exemple, qui ont montré que ce sont les caract6ris­ tigues hydrodynamiques de la surface du sol qui déterminent le devenir de l'eau à l'interface

«sol-atmosphère »..Cela d'autant plus que la présence d'une croftte superficielle de type Ero limite tr s follement l'infiltration au bénéfice du ruissellement. car la croûte joue le rôle d'une véritable batTière hydraulique (PEREZ. 1994).

L;;-s deux modes de fonctionnement hydrique ci-dessus conditionnent la quantité d'eau infiltrée dans le sol. Le ruissellement se déclenche très rapidement dès le début de la pluie pour les sur­ faces de types Ero et Gra. quel que soit Je type de pluie et l'état d'humectation du sol. alors quïl d.?hute beaucoup plus tardivement pour la surface de type Sab. Cela permet au sol de cette d· rnière d'emmagasiner une quantité notable d'eau dès le commencement de la pluie. contraire­ ment aux deux autrL'S surfaces. Ensuite. à mesure qw.! la pluk se poursuit. le milieu sableux continue d'accumuler davantage d'eau que les deux autres milieux. et cela d.autant plus que lïnten!'.ité de la pluil.' est faible. Le sol à surface de type Sab apparaît donc comme un réservoir pnkntiel susœptihk de stocker une proportion relativement importante de reau précipitée alors que pour le sol des deux autres types de surface. cette propmtion est beaucoup plus faible.

Le glacis étudié. dans son état actueL est la juxtaposition de deux types de paysage dont la physionomie et réconomie de l'eau sont très contrastées. Ces deux paysages sont le " résultat ,, de l'action des deux inodes de fonctionnement hydriques définis ci-dessus. D'une

part. un paysage minéral. bioclimatiquement aride. oi't la végétation a pratiquement disparu du fait d'un bilan hydrique très défavorable : c'est le paysage des états de surface de types gravillonnain: et à croûte d'érosion qui correspondent à un stade très avancé de la dégrada­ ti<m et qui occupent la majeure partie du glacis. D'autre part. un paysage de placages sableux, plus végétal. moins aride. d'extension spatiale plus réduite. où se concentre la végétation du fuit d'un piégeage de l'eau par ce milieu : c'est le paysage des surfaces de type sableux,

olila dégradation est moins accentuée ct où les ressources " sol-cau-\·égétation , présentent une œrtaine potentialité.

Les possihilités de restauration de ces deux types de paysage sont très différentès.

Le paysage des surfaces à croüte d'érosion ct gravillonnaire est dégradé de manière pratiquement irréversible. Ce paysage est en effet devenu stérile car reau en est pratiquement ahsente et les graines ne peuvent plus s'enfouir naturellement dans le sol du fait de la présence de ta pellicule superficielle indurée. Seule une intervention humaine. sous forme d ·une destruction de cette pellicule suivie d'une plantation d'espèces végétales adaptées. serait susœptihle de régénérer ce milieu. Ce type d'action. en favorisant Iïnfiltration et le stockage de r cau dans le sol. permet­ trait sans doute l'installation de la végétation. Cette opération doit être en\'isagée sur de grandes superficies et son succès est conditionné par la surveillance rigoureuse des zones traitées pendant plusieurs années pour éviter la destruction par les animaux des espèces végétales introduites.

Les placages sableux, par contre. n'ont pas atteint le niveau de dégradation des surfaces à croO­ te d'érosion et gravîllonnaire. Il s'agit de zones encore« fonctionnelles» car elles permettent le maintien d'une couverture végétale. surtout herbacée. sous les conditions climatiques actuelles. En effet. en l'absence de pellicule indurée de surface. ces placages favorisent. d'une part. le pié­ geage des graines. et. d'autre part. le stockage de l'eau dans le sol. *C* est donc essentiellement vers ces placages sableux que devraient se concentrer les effo11s de restauration du milieu.

# Conclusion

L'utilisation de trois méthodes de caractérisation hydrodynamique (simulation de pluie, anneaux de MÜNTZ et TRIMS) de trois types d'état de surface de sol (croûte d'érosion. gravillonnaire et sableux) en milieu sahélien burkinabè met en évidence une nette différenciation du fonctionne­ ment hydrodynamique selon l'état de surface. en particulier en ce qui concerne la capacité d'infiltration. Celle de la surface de type sableux est beaucoup plus élevée que les surfaces gravillonnaire et encroûtée.

Ce fonctionnement hydrique différentiel au niveau de l'interface « sol-atmosphère » détermine le mode de redistribution de l'eau le long du glacis. Ainsi. les placages sableux sont des zones de stockage hydrique, alors que les surfaces à croûte d ·érosion et gravi lion na ire sont essentiellement des zones de transît pour les eaux de surface. Le bilan hydrique au niveau de ces dernières est donc très défavorable par suite d'une infiltration extrêmement réduite èt d'un fort ruissellement. caractéristiques créant un milieu très peu propice ü r installation de la. végétation.

A lïrwersc. le placages sableux .ont des milieux encore,, actifs » L·ar ib cmmaga in nt l'eau

ct piègent le graines. ce qui Lt\·orisc le développement d'une cnu\ertlll'L' \0g0tale. principale­ ment hcrhaCÇl'. qui joue un role protecteur impmtant \ is-ù-vi tk rL;rn iun 0tlliennc. Dans r optique- (.r lllh: r..:-. t:wration du mi 1 ieu. c \ st verf; ù' t; Pl' de format inn il blethtH' <Jll<' doi \'<'Ill :iL

clmcentrer les ciTons d \tménagemt.:"nt.l,

Références citées

ALBERGEL J,, BER1"iARD A., 198-1. Étude de paramètre> hydrudynamiqucs des sols sous pluies simulées. E'timation du ruis,cllemcnt sur le bassin \"Crsant de Kazanga. ORSTOM. Ouagadougou. 135 p.

ALBEHGEL .J,, RIBSTEIN P., VALENTIN C., 1986. L'infiltration: quels facteurs explicatifs? Analyse des résul­ tats sur -t.S parcelles soumise:; à des simulations de pluies au Burkina Faso. p. 25-48. *ln* : Journées hydrologiques de I'ORSTOM à Montpellier. 17-18 septembre 1985. ORSTOM. Paris. coll. Colloques et Séminaires.

ALBERGEL .J,, 1987. Genèse et prédétermination des crues au Burkina Faso. Du m2 au km2. Étude des paramètres hydrologiques et de leur évolution. Thèse Doct. Uni v. Paris VI. 336 p.

ASSELINE .J,, VALENTIN C., 1978. Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM. sér. Hydrol.. vol. XV. no -1. p. 321-349.

CASENA YE A., VALENTIN C., 1989. Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. ORSTOM. Paris. coll. Didactiques. 229 p.

CHEVALLIER P., 1982. Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi. Haute-Volta). Cah. ORSTOM. sér. Hydrol.. XIX. no -1. p. 253-297.

CHEVALLIER P., CLAUDE .J,, POUYAUD B., BERNARD A., 1985. Pluies et cmes au Sahel. Hydrologie de la mare d'Oursi (Burkina-Faso) ( 1976-1981 ). ORSTOM. Paris. Coll. Travaux et Documents no 190, 251 p.

DEGOUI\IOIS Y., GUENAT C., CURMI P. and HALLAIRE V., 1996. Hydrodynamic Characteristics of Soi! Crust. Ferrugineous soils in Sudano-sahelian areas. Burkina Faso. Poster présenté au symposium international sur la brousse tigrée. ORSTOM. avril 1996. Bondy. Paris.

DELHOU!\IE J, P., THIOI\IBIANO L., BAKIONO G., GATHELIER R., KABORÉ O., 1998. L'intwelation

étw.ion hydrique/érosion éolienne en milieu sahélien : cas de la zone nord du Burkina Faso. 16' Congrès mondial de la science du sol. Montpellier. 19-26 aoùt 1998. 10 p.

Fl'ENTES C., 1992. Paramctcr cnnstraints on closed-form soi! water relationships. J. Hydrol.. 134: 117-142. GARD;"'IER W. R., 1958. Some stcady-statc solutions for the unsaturated tlow equation with application to

evaporation from a water table. Soi! Science. 85 : 228-232.

Il.\ \'ERKAi\tP R., 1994. Thrcc-Jimcminnal analysis of infiltration from the dise infiltrometer. 2) Physically bascd infiltration equation. Watcr Rcsourcc Rcscarch. YOI. 30. 11° Il : 2931-2935.

IIILLEL D.. 1974. L'cau ct k ::.ol. Principes ct processus physique,. \'andcr Ed .. Loll\'ain. 288 p.

LAFFORGl'E A., \'11:\,\H E., 1976. E\emplc d'analyse expérimentale des facteurs du ruissellement sous pluies si111ulée,. Cah. ORSTOI\1. sér. Hydrnl .. vol. XIII. n' . p. 195-237.

PARLANGE .J. Y., 19:-12. Tlm..'c-paramcter ini'iltration equation. Soi! 'ricm\'. 133. 3.'17- '41.

PEREZ P.• 199-4. Clenè'c du ruisst'iicmcnt 'ur les stlls t'tilt il 6 du >lld Saloum 1 Sén,'g;d '· Du dta no-.tic ù l'amén;t· cmcnt de parcelle Thè,c Doct. Sei. Agron .. Ecole Nat. Sup. Agron. de i\lotllpc!IJcr. 1 '"1 *250* p

PIIILII, .J. R•• 1957. Th.:- them-y of infiltration. Soi! Science. S-1-: 2)7-26-1-.

SIVAKOMAR !\1. V. K., GNOVl\lOU F., 1987. Agroclimatologic Je I'AI'riquc <k I'OuL''t IL' Burkina fa;,<).

llllcrnational Crops Rc:,.carch hNitute for the Semi-arid tropic:-. Bull. dïnf. n' *23.* 192 p.

SMETTEM K. R..J, and CLOTHIER B. E., 1989. Measuring unsatureJ >nrptivity and h)draulic conductivity usirlf multiple dise permeametcrs. Joumal of Sail Science. 40 : 563-568.

SMETTEM K. R. J,, 1994. Thrce-dimensional analysb of infihratinn from the dise intïl\rnmetcr. 1) A capillary based theory. Watcr Resmn·ee Research. vol. 30. ne Il : 2925-2929.

TIUOMBIANO L., PODA D., BAKIONO G., AYEMOU A., 1996. l:tutk du phénomène de la désertificatiOn perspectives pour 'on contrôle. Actes du 2' Forum national de la rcchêtcht· cicntitïquc l't t<.'dmologiyue. CNR : 1 Ouagadougou. Burkina Faso. Tome 2. p. 93-98.

THIOMRIANO L. et DIANOU D., 1998. Dégagement de C C02 dam. h> '11h ,,•lon troi;. état> de surface en nulh il

sahélien. Annales de I'Uniwrsité de Ouagadougou Sétic B. Volume VIL Oua .Jdut:);OU. Burkina Fa,o.

VALENTIN C., 1981. "Organisations pelliculaires superficielles de quelque· 'ols de région suhdésertiquc "·Th(,,· ORSTOM, 1981.

VAUCUN M. et CHOPART J, L., 1993. L'infiltrométric multi-disque pour la détermination *in sitll* des caractéri ­ tiqnes hydrodynamiques de la surface d'un sol gravillonnaire de Côte dhoirc. Agronomie tropica!C'.

WHITE l. and SULLY M. J., 1987. Macroscopic and microscopie capillar lcngth and lime ;.cales from field infiltration. Water Resource Research, vol. 23 : 1514-1522.

*,:*

