

INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE
DEVELOPPEMENT EN COOPERATION.

LA SIMULATION DE PLUIE
ET LES ETATS DE SURFACE EN MILIEU URBAIN.

JEAN-LOUIS JANEAU (PEDOLOGIE ABIDJAN)
CHRISTOPHE BOUVIER (HYDROLOGIE MONTPELLIER).

COPYRIGHT ORSTOM

NOVEMBRE 1987

1° - INTRODUCTION :

Dans le cadre de l'étude du ruissellement et de la mise au point d'un modèle de ruissellement en milieu urbain en Afrique de l'ouest, quatre campagnes de simulation de pluie ont été réalisées dans les villes d'ABIDJAN, LOME, OUAGADOUGOU et NIAMEY (BOUVIER, 1986).

Le principal objectif était de fournir une évaluation expérimentale des pertes par infiltration. En effet, les bassins urbains africains sont pour la plupart caractérisés par des spécificités liées au régime de précipitations et au mode d'occupation des sols, qui obligeront à tenir compte de la participation des surfaces perméables dans l'évaluation des volumes ruisselés et du débits de pointe de ceux-ci.

Des études d'hydrodynamiques superficielles (COLLINET et LAFFORGUE, 1979; VALENTIN, 1981; CHEVALLIER, 1982), menées à l'aide de simulateurs de pluie et situées dans les mêmes zones géographiques mais en milieux naturels ont mis en évidence l'importance de ces états de surface sur l'infiltration. Les états de surface ont été répertoriés et font l'objet d'une typologie établie par (CASENAVE et VALENTIN, 1987).

Le problème que nous nous sommes posés, est de savoir comment les états de surface "urbains" souvent issus de sols remaniés et d'apports en matériaux divers, se situent dans cette typologie : en particulier, doit-on considérer des paramètres différents pour décrire leurs caractéristiques hydrodynamiques, ou, au contraire, les mécanismes de ruissellement y sont-ils comparables à ce que l'on a pu observer sur sols naturels situés en zone rurale dans la même unité géographique? Après avoir décrit de façon détaillée les états de surface de l'ensemble des parcelles étudiées en milieu urbain, nous avons pu répondre positivement à cette dernière question.

2° - PRINCIPE ET METHODES :

Six parcelles expérimentales ont été choisies par bassin étudié en fonction des différents états de surface présents.

Des observations et descriptions ont été réalisées avant ou après les pluies et un prélèvement a été effectué dans les 5 premiers centimètres en vue d'analyse granulométrique.

Les tableaux récapitulatifs de notation des parcelles expérimentales qui suivent, se rapportent à la méthode de description (VALENTIN 1986), (cf : annexe 2) et à la typologie citée ci-dessus, (cf : annexe 1).

3° - LE BASSIN VERSANT DE OUAGADOUGOU :

TABLEAU RECAPITULATIF N°1

PARCELLE P1 P2 P3 P4 P5 P6

RECOUVREMENT

couvert végétal %	0	0	0	0	0	0
résidus %	5	1	1	0	0	1
G R A N U L O M E T R I E (prélèvement : épaisseur 5cm)						
argiles %	6,6	8,0	8,2	8,2	3,9	10,4
+ limons %						
sables fins %	18,2	15,1	21,2	25,4	8,6	23,4
sables grossiers %	55,1	50,8	35,5	51,7	29,6	54,8
éléments grossiers >2mm	20,0	26,1	35,1	14,7	57,9	11,4
gravillons et graviers libres %	45,0	5,0	45,0	1	60	2
cailloux %	0	0	0	0	1	1

ORGANISATIONS DE SURFACE

microrelief hauteur (cm)	0	0	0	1	0	0
obstruction	0	0	0	0	0	0
algues et mousses	0	0	0	0	0	0

		activité mésofaunique					
couvert %		1	0	1	1	0	1
porosité		1	0	3	1	0	1
gravillons enchâssés		60	2	1	1	30	5
fentes		0	0	0	0	0	0
hydromorphie de surface		0	0	0	0	0	0
prise en masse des sables		2	3	2	2	2	2
porosité vésiculaire		3	2	2	3	2	3
		pellicule plasmique					
continuité		2	2	10%	3	1	3
épaisseur		2	2	1	3	3	1
type de microhorizon	1 2 3 autre	GL GI SG SF PPC -	SG SF PPC -	GL GI SG SF PPC -	SG SF PPC -	GL GG SG SF PPC -	SG SF PPC -
type de croûte		G	ST3 var SDL	G G	ST3	G	ST3 var SDL
érosion		1	0	0	1	0	1

SOL

		profondeur d'apparition d'un horizon à drainage limité					
		1	1	3	0	1	3
texture (0-20cm)		0	0	1	1	1	1
porosité (0-20cm)		1	1	2	1	2	2
hydromorphie (0-20cm)		0	0	0	0	2	2
classe de drainage		2	3	4	1	4	3

De ce tableau, il est possible de rattacher les valeurs des coefficients d'infiltration (KI) et des intensités limites de ruissellement (IL) approchant celles de la typologie établie par CASENAVE et VALENTIN pour les milieux sahéliens, démontrant ainsi l'importance des états de surface sur l'infiltration, même en milieu urbain.

TABLEAU N°1 : VARIABLES CARACTERISTIQUES DE L'INFILTRATION.

PARCELLE EXPERIMENTALE	GRUPE TYPOLOGIE	COEFFICIENT OBSERVE % KI	COEFFICIENT FOURNI % KI	(I1) INTENSITE LIMITE mm.h-1
1	G	7,6	5 à 15	0 - 2
2	ST3 var SDL	8,7	5 à 15	0 - 2
3	G	10,8	5 à 15	0 - 2
4	ST3	10,4	15 à 25	0 - 2
5	G	8,1	5 à 15	0 - 2
6	ST3 var SDL	11,1	5 à 15	0 - 2

KI = COEFFICIENT D'INFILTRATION POUR L'ENSEMBLE DU PROTOCOLE
 = SOMME DES LAMES INFILTRÉES/SOMME DES HAUTEURS DE PLUIE DE TOUTES LES AVERSES, EN %.

IL = INTENSITÉ LIMITE DE RUISSellement POUR UN SOL SATURÉ EN mm.h-1.

= Point d'intersection de la première bissectrice et de la droite FN(I), correspondant à la plus forte valeur de IK du protocole. Cette valeur peut être assimilée au coefficient d'infiltration à saturation.

FN = Intensité minimale d'infiltration.

IK = Indice pluviométrique de forme exponentielle répondant à l'équation :

$$IK_n = (IK_{n-1} + P_{n-1}) e^{-\alpha t}$$

où :

IK_n = valeur de l'indice avant la pluie n

IK_{n-1} = valeur de l'indice avant la pluie n-1

P_{n-1} = hauteur de la pluie n-1

t = temps en fraction de jours, séparant la fin de la pluie n-1 du début de la pluie n

α = coefficient d'ajustement = 0,5

3.1 - DESCRIPTIONS DE CES ETATS DE SURFACE ET DE CES SOLS "URBAINS" :

Deux types d'états de surface se dégagent :

a) - Les parcelles n°1, 3 et 5 possèdent un recouvrement d'éléments grossiers (taille > 2mm) supérieur à 40% de la surface totale. Entre les gravillons, des sables grossiers sont pris en masse sur 3 mm d'épaisseur formant un premier microhorizon, le deuxième est constitué de sables fins puis apparaît une fine pellicule plasmique où sont enchassés de nombreux gravillons, l'ensemble formant une croûte à charge grossière, figure n°1.

b) - Les parcelles n°2, 4 et 6 sont des croûtes structurales, figure n°2, reconnaissables à leurs trois microhorizons bien distincts : sables grossiers en surface suivi de sables fins blanchis et enfin une pellicule plasmique à forte porosité vésiculaire. Une variante à caractéristique urbaine est introduite. Elle est due à la présence d'un horizon sous-jacent à drainage limité (SDL) : réduction sensible du coefficient d'infiltration, K_i 5 à 15 % .

Les parcelles n° 1 et 2 sont situées sur des sols gravillonnaires dès 20 ou 30 millimètres de profondeur.

Les parcelles n° 3 et 4, sont situées sur des sols d'apports latéritiques de 40 millimètres d'épaisseur sous-jacents à un couvert de gravillons ferrugineux libres et de sables grossiers déliés et éléments grossiers de faible diamètre (2 à 4 mm).

La parcelle n° 6 à la particularité de posséder un microhorizon de surface essentiellement sableux (sables très grossiers) et éléments grossiers de faible diamètre (2 à 5 mm), sur sol à texture sablo-argileuse dans les 60 premiers centimètres.

La parcelle n° 5 est située sur une piste carrossable, en zone très compactée à forte charge d'éléments grossiers et sur apport latéritique.

Pour l'ensemble des parcelles : aucune végétation, aucune zone cultivée, peu ou pas d'activité faunique.

On ne peut donc, à partir de ce constat qu'observer des surfaces à fortes réorganisations superficielles, et donc, à faible coefficient d'infiltration (tableau n°1).

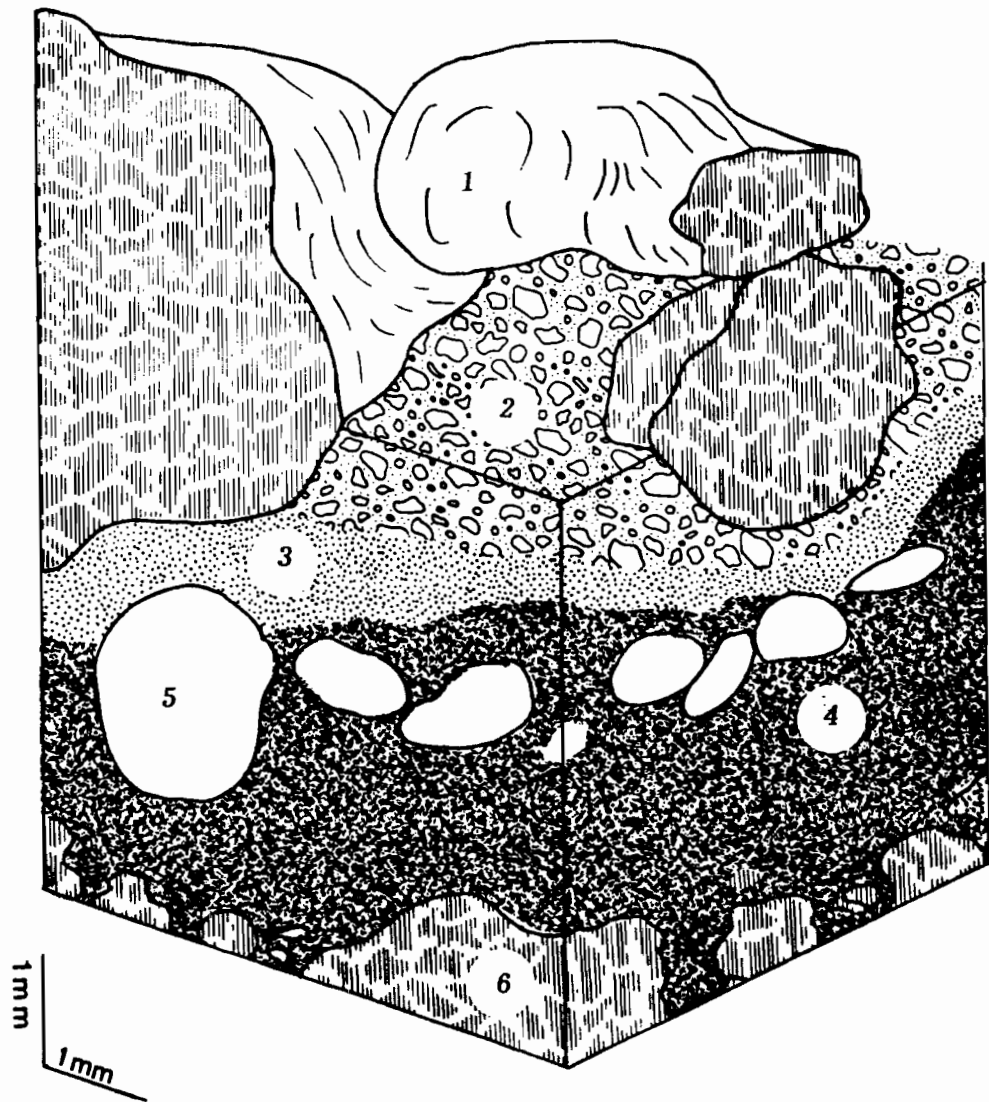


FIG. 1 : SURFACE DE TYPE GROSSIER (d'après C.VALENTIN)
(identique en milieu urbain)

Ouagadougou n° 1, 3 et 5 Niamey n° 2

1 : ELEMENTS GROSSIERS

2 : SABLES GROSSIERS

3 : SABLES FINS

4 : PLASMA

5 : POROSITE VESICULAIRE

6 : MATRICE GRAVILLONNAIRE DU 1° HORIZON

3.2 - LA FORMATION ET L'EVOLUTION DE CES DEUX TYPES DE SURFACES :

a) les croûtes grossières, figure 1 :

La formation de cette croûte à charge grossière dominante est liée à l'activité anthropique (décapage et roulage des éléments grossiers en surface), à l'action de la pluie (rejaillissement et éclatement des micro-agrégats) et surtout au ruissellement (dépôt et tassement des sables et argiles).

L'évolution liée au régime des pluies se traduit par un micro-transfert vertical de l'argile et d'un tri granulométrique : formation de microhorizons bien différenciés.

b) les croûtes structurales, figure 2 :

Elles sont produites par désagrégation, rejaillissement des particules de sol, tassement des sables fins et de l'argile, cette dernière subissant un micro-transfert vertical.

Caractéristique commune aux deux types de surfaces élémentaires de la ville de Ouagadougou : la porosité vésiculaire.

Elle est située au contact entre les microhorizons à sables fins et les microhorizons de plasma sous-jacents. Son origine est probablement due à un emprisonnement de l'air qui ne parvient pas à se dégager lors de l'infiltration, mais elle peut être aussi liée à la production de gaz résultant de fermentation ou de réactions de chimie minérale.

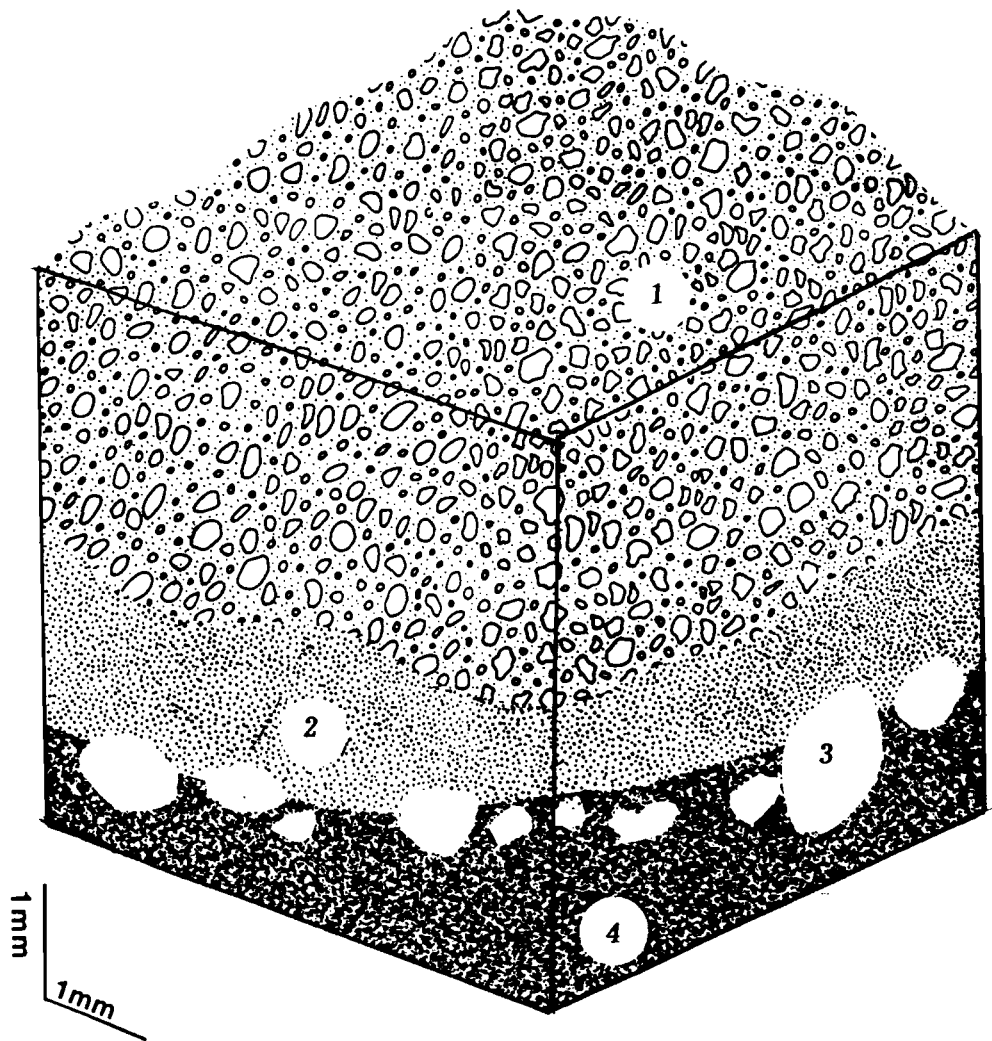


FIG. 2 : SURFACE DE TYPE STRUCTURALE 3

**Abidjan n° 1, 2, 3 et 6, Lome n° 1, 2, 3 et 5,
Niamey n° 4, 5 et 6, Ouagadougou n° 2, 4 et 6**

1 : SABLES GROSSIERS

2 : SABLES FINS

3 : POROSITE VESICULAIRE FINE

4 : PLASMA

4° - LE BASSIN VERSANT DE LOME.

TABLEAU RECAPITULATIF N°2

PARCELLE P1 P2 P3 P4 P5 P6

RECOUVREMENT

couvert végétal %	0	0	0	0	0	0
résidus %	0	0	0	0	2	0
G R A N U L O M E T R I E (prélèvement : épaisseur 5cm)						
argiles %	7,62	5,11	4,82	6,40	5,85	1,49
limons %	7,56	6,12	4,25	7,44	7,69	2,37
sables fins %	25,29	42,22	36,66	15,24	17,28	10,83
sables grossiers %	58,97	47,78	53,56	59,54	59,11	85,26
gravillons et graviers libres %	estimation de visu en surface					
	0	0	1	5	5	0
cailloux %	0	0	0	0	0	0

ORGANISATIONS DE SURFACE

microrelief hauteur (cm) obstruction	2	< à 1	< à 1	< à 1	2	< à 1
algues et mousses	0	0	0	0	0	0
activité mésofaunique						
couvert %	0	0	1	0	0	0
porosité	0	0	0	0	0	0
gravillons enchassés	0	0	0	1	3	0
fentes	0	0	0	0	0	0
hydromorphie de surface	0	0	0	0	0	0

prise en masse des sables	0	0	0	0	0	0
porosité vésiculaire	1	2	1	1	1	0
	pellicule plasmique					
continuité épaisseur	3 3	2 3	3 2	3 1	3 3	0 0
type de microhorizon	1 SG 2 SF 3 PP autre -	SG SF PP -	SG SF PP -	SG PP - -	SG SF PP -	SABLES - - -
type de croûte	ST3	ST3	ST3	ST2	ST3	DES var SSA
érosion	0	0	0	0	1	0

SOL

profondeur d'apparition d'un horizon à drainage limité	0	1	1	2	0	1
texture (0-20cm)	0	1	1	2	0	0
porosité (0-20cm)	2	2	2	3	2	0
hydromorphie (0-20cm)	0	0	1	3	3	1
classe de drainage	2	0	2	5	1	0

TABLEAU N°2 : VARIABLES CARACTERISTIQUES DE L'INFILTRATION.

PARCELLE EXPERIMENTALE	GROUPE TYPOLOGIE	COEFFICIENT OBSERVE % KI	COEFFICIENT FOURNI % KI	(I1) INTENSITE LIMITE mm.h-1
1	ST3	29.5	15 à 25	0 - 5
2	ST3	22.6	15 à 25	0 - 5
3	ST3	25.9	15 à 25	0 - 5
4	ST2	55.7	40 à 55	5 - 10
5	ST3	23.8	15 à 25	0 - 5
6	DES VAR SSA	100	85 à 100	> 30

4.1 - DESCRIPTIONS PEDOLOGIQUES ET SURFAÇOLOGIQUES DE CES PARCELLES.

Les parcelles n°1, 2, 3 et 5 sont situées sur des sols d'apport latéritique d'épaisseur variable proche ou affleurant la surface. Les parcelles possèdent en surface trois microhorizons : sables grossiers déliés, sables fins blanchis et pellicule plasmique à forte porosité vésiculaire fine. Ce type d'organisation est celui qui a été le plus fréquemment rencontrée dans les villes où se sont déroulées ces études.

La parcelle n°4 située dans une cour plus ou moins délaissée possède un sol composé de sable et de débris ménagers. A 15 cm de profondeur apparaît un microhorizon plus riche en argile limitant quelque peu l'infiltration. La surface est couverte de sables grossiers plus ou moins pris en masse qui reposent sur une fine pellicule rugueuse (aspérité liée aux déchets), c'est une pellicule de type structurale 2, figure 3.

La parcelle n°6, figure 4b, a été implantée dans une cour d'école sableuse sur au moins 80 centimètres d'épaisseur (nappe située à ce niveau). Le faible taux d'argile et de limons (cf:granulométrie) de cette texture sableuse à sables grossiers dominants et la structure particulière qui en découle, ne permettent pas la formation de croûte de surface. Le micro-relief est induit par le piétinement (amplitude de 0-10 cm) : infiltration maximale.

Pour les parcelles n° 1, 2, 3, 4 et 5 les analyses granulométriques, ainsi que les descriptions de surface, informent du taux dominant de sables dans les premiers centimètres du sol. Les sables liés à un taux d'argile et/ou de limons > ou = à 6% étant forts sensibles aux processus de réorganisations sous l'effet de l'impact des gouttes de pluie au sol, on observe une désagrégation mécanique et un classement granulométrique (micro-transferts verticaux) de ces sables entraînant la formation de ces pellicules de type structurale.

4.1 - FORMATION ET EVOLUTION DE CES DIFFERENTS TYPES DE SURFACES :

La genèse et le fonctionnement des croûtes de type structurale 3 (parcelles n° 1, 2, 3 et 5) ont été définies au paragraphe 33 du bassin versant de Ouagadougou.

La parcelle n°4 est implantée sur une surface de type structurale 2. Le microhorizon de sables fins n'existe pas, la cause en est la faible teneur dans les premiers centimètres du profil.

La surface de dessiccation, ici formée sur sol sableux, est en fait une surface meuble à sables grossiers déliés (structure particulière). Le taux d'argile et de limons très faible ne permet pas la formation d'une croûte quelconque.

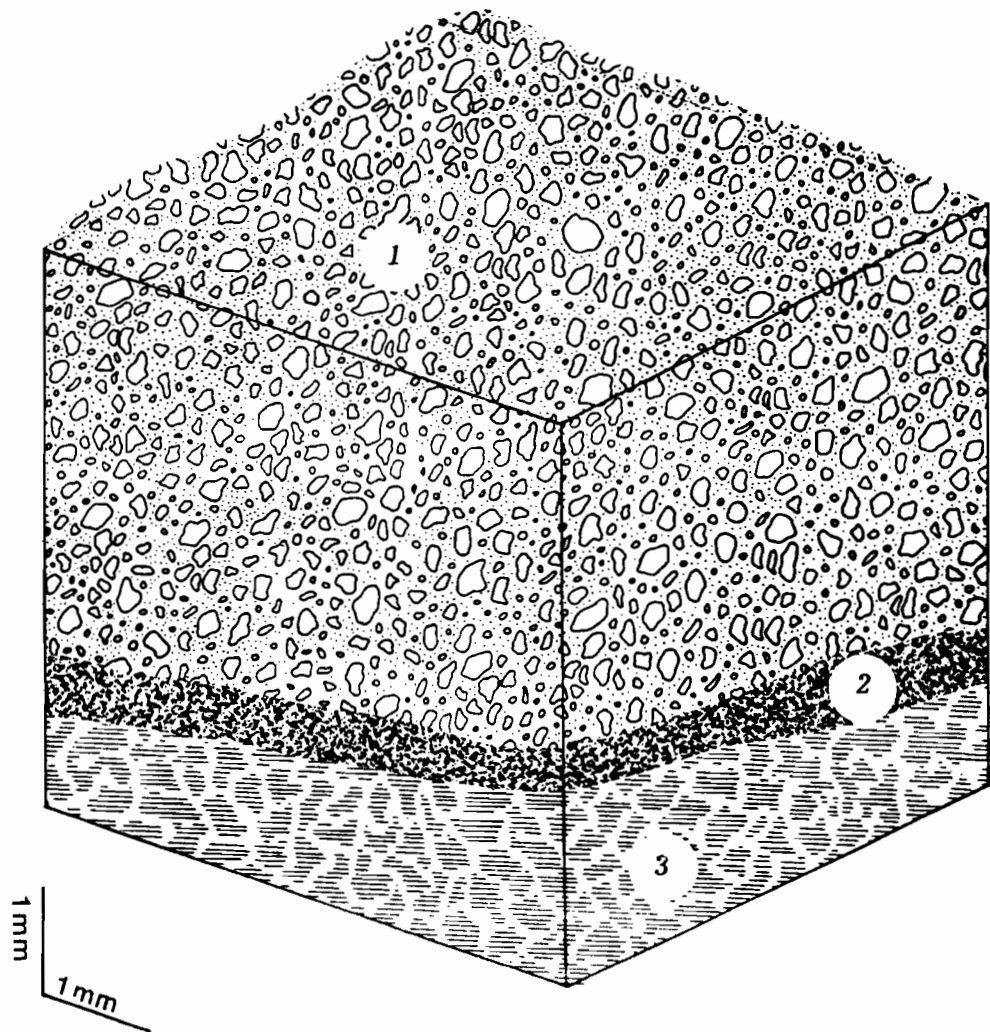


FIG. 3 : SURFACE DE TYPE STRUCTURALE 2
(deux microhorizons)

Lomé n° 4 , Niamey n° 1

1 : SABLES GROSSIERS DELIES

2 : PELLICULE PLASMIQUE FINE

3 : MATRICE DU 1° HORIZON

5° - LE BASSIN VERSANT D'ABIDJAN (YOPOUGON) :

TABLEAU RECAPITULATIF N°3

PARCELLE	P1	P2	P3	P4	P5	P6
<u>RECOUVREMENT</u>						
couvert vegetal %	1	0	0	5	80	< 1
résidus %	0	0	0	1	1	0
G R A N U L O M E T R I E (prélèvement : épaisseur 5cm)						
argiles %	13,2	9,9	11,7	10,2	6,2	4,5
limons %	4,5	6,6	3,2	4,2	1,9	1,8
sables fins %	24,9	24,6	29,7	38,8	24,6	26,8
sables grossiers %	55,0	56,5	53,3	44,8	66,0	64,0
gravillons et graviers libres %	< 1	1	0	< 1	< 1	< 1
estimation de visu en surface						
cailloux %	0	0	0	0	0	0

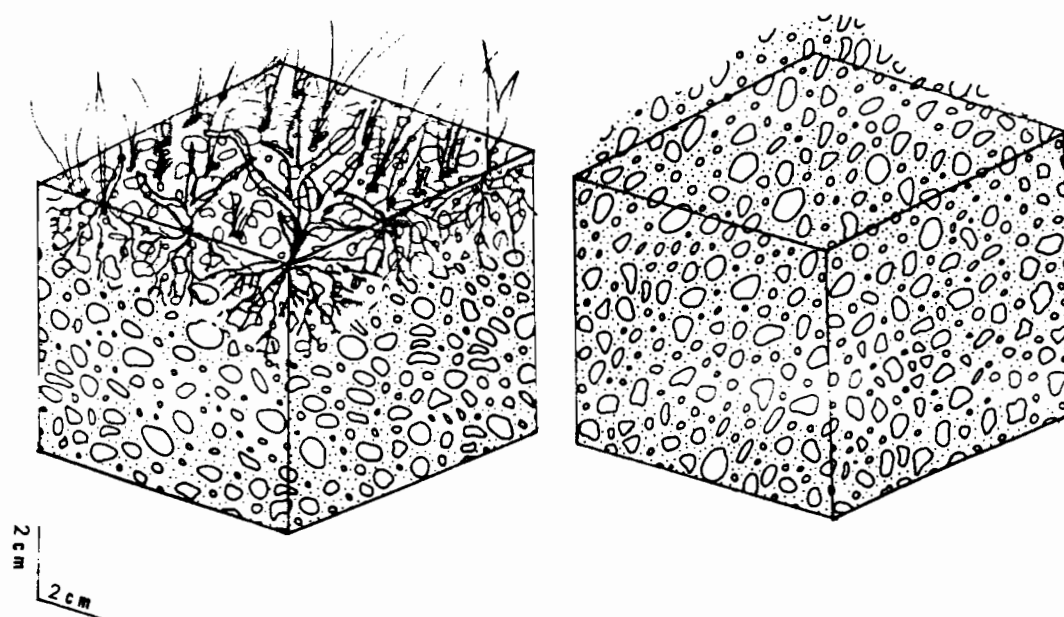


FIG. 4 : SURFACES DE TYPE DESSICATION

A - Abidjan n° 5

Surface très enherbée, sableuse sur sol sableux.

Le couvert herbacé, son chevelu racinaire dense et l'activité biologique de ce micro milieu inhibent les effets de réorganisations de surface dus à la pluie.

B - Lomé n° 6

Surface et horizon sableux sur la totalité du profil (80 cm).

Très faible pourcentage d'argile et de limons. Pas d'effet splash.

ORGANISATIONS DE SURFACE

microrelief hauteur (cm) obstruction	1 0	0 0	1 0	8 3	3 1	1 0
algues et mousses	0	0	1	0	0	0
activité mésofaunique						
couvert %	0	0	0	1	5	0
porosité	0	0	0	2 3	2 3	0
gravillons engrassés	0	0	0	0	0	0
fentes	0	0	0	0	0	0
hydromorphie de surface	0	0	0	0	0	0
prise en masse des sables	3	0	3	1	1	3
porosité vésiculaire	1	3	2	0 cause semis	0	3
pellicule plasmique						
continuité	2	3	2	0 cause	0	3
épaisseur	3	3	3	1 semis	0	2
type de microbiorizon	1 SG 2 SF 3 PP autre -	SG SF PP -	SG SF PP -	SG SF PP -	SABLES	SG SF PP -
type de croûte	ST3	ST3 var SOL	ST3	C3	DES	ST3 var SOL
érosion	0	1	0	0	0	0

SOL

profondeur d'apparition d'un horizon à drainage limité	0	3	0	0	0	3
texture (0-20cm)	0	0	0	0	0	0
porosité (0-20cm)	2	2	2	0	0	2
hydromorphie (0-20cm)	0	0	0	0	0	0
classe de drainage	1	2	1	0	0	2

TABLEAU N°3 : VARIABLES CARACTERISTIQUES DE L'INFILTRATION

PARCELLE EXPERIMENTALE	GRUPE TYPOLOGIE	COEFFICIENT OBSERVE % KI	COEFFICIENT FOURNI % KI	(II) INTENSITE LIMITE mm.h-1
1	ST3	8	15 à 25	0 - 5
2	ST3 var SDL	6,5	5 à 15	0 - 5
3	ST3	6	15 à 25	0 - 5
4	C3	22,1	15 à 25	0 - 3
5	DES	78	60 à 75	10 - 20
6	ST3 var SOL	10,3	5 à 15	0 - 5

ST3 var SDL = Surface de type structurale, variante : sur sol - horizon à drainage limité.

5.1 - DESCRIPTIONS PEDOLOGIQUES ET SURFAÇOLOGIQUES DE CES PARCELLES.

Les parcelles n° 1 et 3 sont situées dans des cours familiales compactées et balayées. On n'observe pas d'horizon à drainage limité mais l'anthropisation forte que subit ce milieu apporte un tassement et un plus fort pourcentage d'argile en surface, limitant l'infiltration.

La parcelle n° 2 est implantée à la bordure d'une piste carrossable constituée d'un apport latéritique compacté, zone de fort ruissellement. La croûte structurale de surface possède trois microhorizons : sables grossiers déliés, sables fins et pellicule plasmique à porosité vésiculaire fine. Le rejaillissement, le tassement, le micro-transfert d'argile et les dépôts laminaires issus du ruissellement sont à l'origine de

cette croûte structurale riche en sable. Le faible coefficient d'infiltration est lié à l'horizon sous-jacent à drainage limité. Dans ce cas précis, l'état de surface n'est plus prépondérant, c'est le sol qui compacté pour les besoins "urbains", induit le fort ruissellement constaté lors de l'expérimentation. Une variante des états de surface particuliers, de type urbain lié à la composition ou au compactage du sol des voies carrossables et des zones anciennement construites doit être introduite (SOL=sol drainage limité).

Les parcelles n° 4 et 5 sont les seules où la végétation a été observée. La n° 4 est un jardin cultivé en maïs. L'expérimentation a eu lieu après le semis, après un travail du sol qui avait détruit les pellicules superficielles. Cependant l'observation au cours et après les pluies a montré la formation de micro-organisations pelliculaires superficielles (mops), figure 5. Ces microhorizons se forment à la suite de la destruction des micro-agrégats (par l'énergie cinétique des gouttes de pluie) suivie d'un tassement associé à un micro-transfert vertical de l'argile.

La parcelle n°5 est couverte à 80% par une strate herbacée basse (pseudo pelouse), dont le chevelu racinaire fasciculé et l'activité biologique qui y est liée, empêchent toutes formations d'organisations pelliculaires de surface, figure 4a. Le seul facteur limitant l'infiltration dans ce cas est le sol.

La parcelle n°6 a été placée dans une cour d'école. Elle présente une pellicule structurale à trois microhorizons : des sables grossiers sur 3 à 5 mm d'épaisseur, des sables fins et une pellicule plasmique. Par endroit, le micro-profil révèle quelques gravats riches en plaquettes de ciment. Etat de surface bien spécifique du milieu urbain et variante introduite dans la typologie de référence.

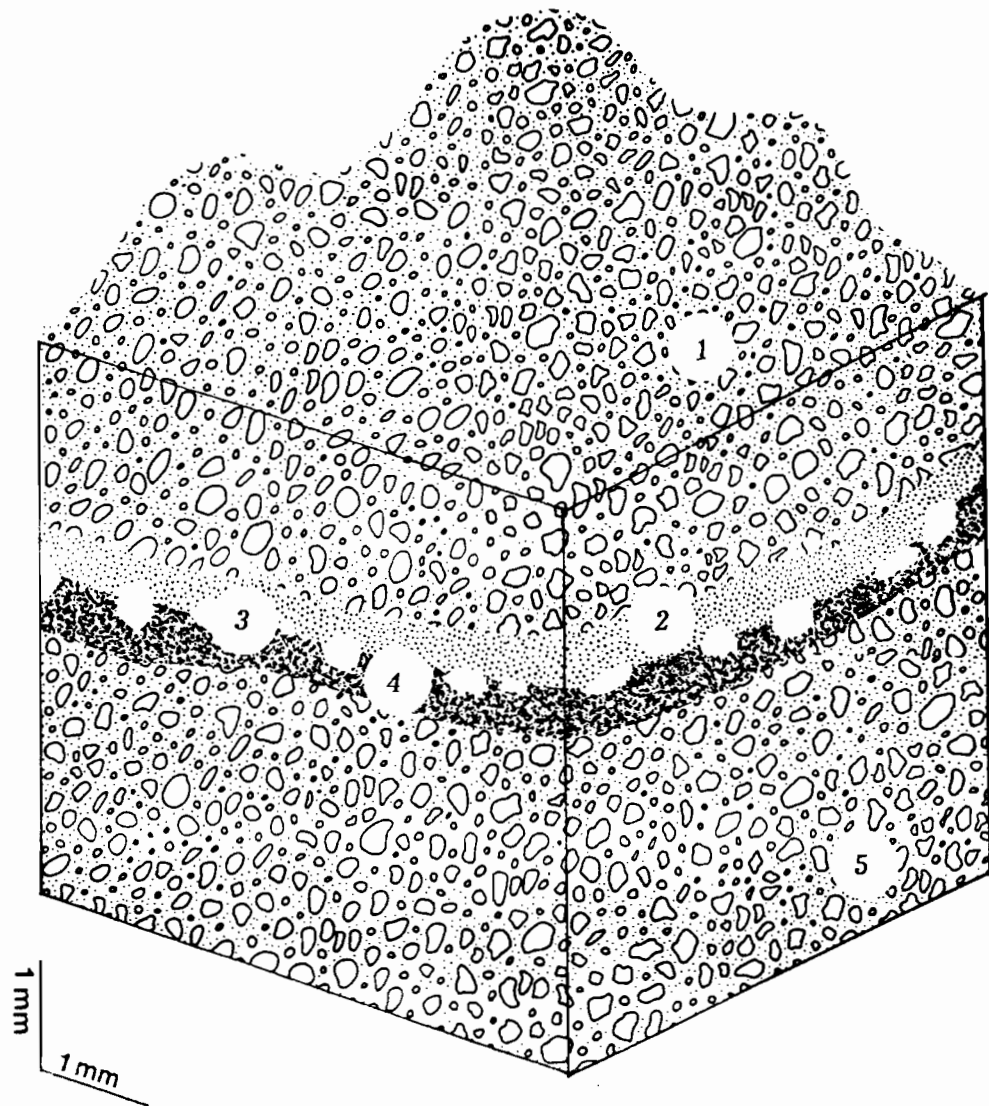


FIG. 5 : SURFACE DE TYPE CULTIVEE C3.

Abidjan n° 4 , parcelle cultivée en maïs (fort micro-relief)

1 : SABLES GROSSIERS (micro-relief lié au travail du sol)

2 : SABLES FINS

3 : POROSITE VESICULAIRE FINE

4 : PELLICULE PLASMIQUE

5 : MATRICE SABLEUSE DU 1° HORIZON

6° LE BASSIN VERSANT DE NIAMEY :

TABLEAU RECAPITULATIF N°1

PARCELLE P1 P2 P3 P4 P5 P6

RECOUVREMENT

couvert végétal %	0	0	0	0	0	0
résidus %	15	10	0	<1	1	<1
G R A N U L O M E T R I E (prélèvement : épaisseur 5cm)						
argiles %	15,7	15,5	9	9,2	4,1	4,9
+ limons %						
sables fins %	48,6	49,3	60,7	61,0	31,0	56,2
sables grossiers %	32,6	31,0	30,3	28,7	40,0	30,3
éléments grossiers >2mm	3,2	4,2	0,0	1,1	24,9	8,6
gravillons et graviers libres %	estimation de visu en surface					
	<1	5,0	0,0	<1	20,0	10,0
cailloux %	-	-	-	-	-	-

ORGANISATIONS DE SURFACE

microrrelief	1	1	1	1	1	1
hauteur (cm)	0	0	0	0	0	0
obstruction						
algues et mousses	0	0	0	0	0	0

activité mésofaunique						
couvert %	0	0	0	0	0	0
porosité	0	0	0	0	0	0
gravillons enchassés	2	50	0	0	30	20
fentes	0	0	0	0	0	0
hydromorphie de surface	0	0	0	0	0	0
prise en masse des sables	0	0	3	1	1	1
porosité vésiculaire	2	2	3	1	2	2
pellicule plasmique						
continuité	1	3	3	3	3	3
épaisseur	3	3	3	3	1	3
type de microhorizon	1 SG 2 PPC 3 - autre -	GL GI SG SF PPC -	PPC - - -	SG SF PPC -	SG SF PPC -	SG SF PPC -
type de croûte	ST2	G	ERO	ST3	ST3	ST3
érosion	0	0	0	0	0	0

SOL

profondeur d'apparition d'un horizon à drainage limite	0	1	0	0	0	0
texture (0-20cm)	1	1	1	1	2	1
porosité (0-20cm)	2	2	2	2	3	2
hydromorphie (0-20cm)	0	0	0	0	0	0
classe de drainage	4	4	4	4	4	4

TABLEAU N°3 : VARIABLES CARACTERISTIQUES DE L'INFILTRATION

PARCELLE EXPERIMENTALE	GROUPE TYPOLOGIE	COEFFICIENT OBSERVE % KI	COEFFICIENT FOURNI % KI	(II) INTENSITE LIMITE mm.h-1
1	ST2	40,2	40 à 55	5 - 15
2	G	12,7	5 à 15	0 - 2
3	ER0	11	10 à 20	0 - 5
4	ST3	20	15 à 25	0 - 5
5	ST3	21,9	15 à 25	0 - 5
6	ST3	20,8	15 à 25	0 - 5

Les parcelles de la ville de NIAMEY se répartissent en fonction de leur activité anthropique plus ou moins marquées :

- les croûtes d'érosion à fort coefficient de ruissellement sont situées sur les voies carrossables et dans les cours de concession.

La croûte d'érosion, figure 6, a pour origine l'impact des gouttes de pluies qui désagrège les micro-agrégats produits par piétinement et balayage dans les cours d'habitations. Le transport des particules est dû au rebondissement (effet splash). Enfin la pellicule d'érosion est une induration liée au tassement par les pluies successives.

- les croûtes de type structurales sont uniquement en zones qualifiées de grands espaces moins piétinées que précédemment.

- la parcelle située sur gravillons est une cour dont le sol est un apport lateritique.

- la parcelle de type structurale 2 est également une cour dont le sol d'origine sableuse (> à 80%) est peu sensible au tassement lié à l'activité humaine.

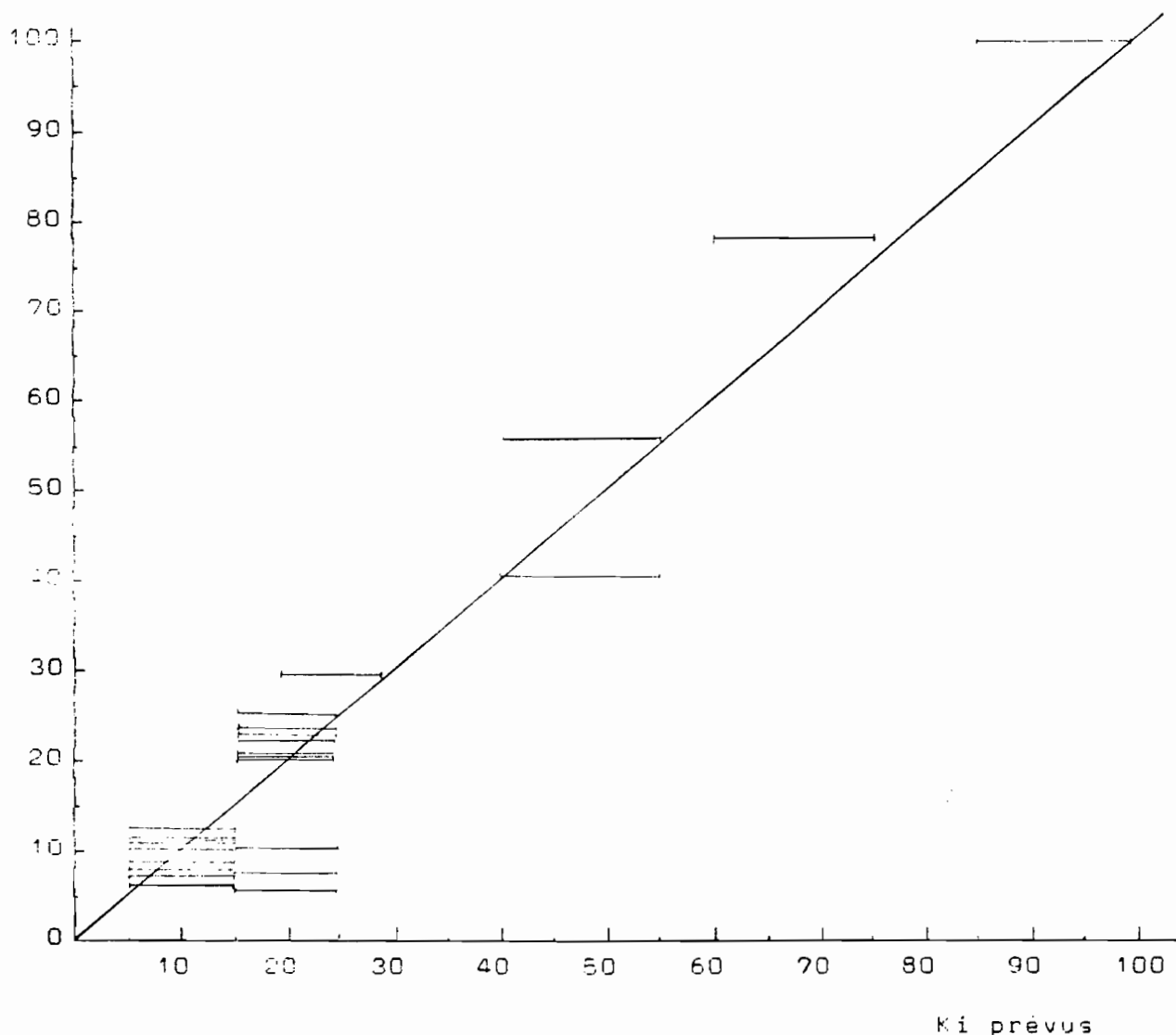
Il est fort probable que les croûtes structurales à trois microhorizons situées en zone peu anthropisée se transforme en croûte d'érosion si l'activité urbaine s'accroît. En effet, les croûtes d'érosion correspondent à l'érosion hydrique ou/et éolienne de croûtes structurales à deux ou trois microhorizons, d'où les reliquats sableux conservés dans les anfractuosités des pellicules d'érosion.

7°- VALIDATION DE LA METHODE :

Les protocoles et les formes de pluies simulées sont différents d'un pays à l'autre, aussi le test de validation, figure 7, de cette étude porte sur les valeurs du coefficient d'infiltration (Ki) en fin de cycle de pluie.

Pour ces 24 parcelles, 17 valeurs de Ki sont comprises dans l'intervalle prévu. Nous obtenons un pourcentage de 70,8 % de Ki correctement prévus et obtenus. Trois parcelles possèdent des coefficients très proches des limites des intervalles prévus, ce qui porte le pourcentage de prévision correctement estimée à 80,3%. Les quatre parcelles dont les coefficients sont relativement différents de la prévision obtenue par le descriptif des états de surface est lié à l'aspect particulier du paysage urbain (compactage de la surface du sol des cours d'habitations).

Ki observés



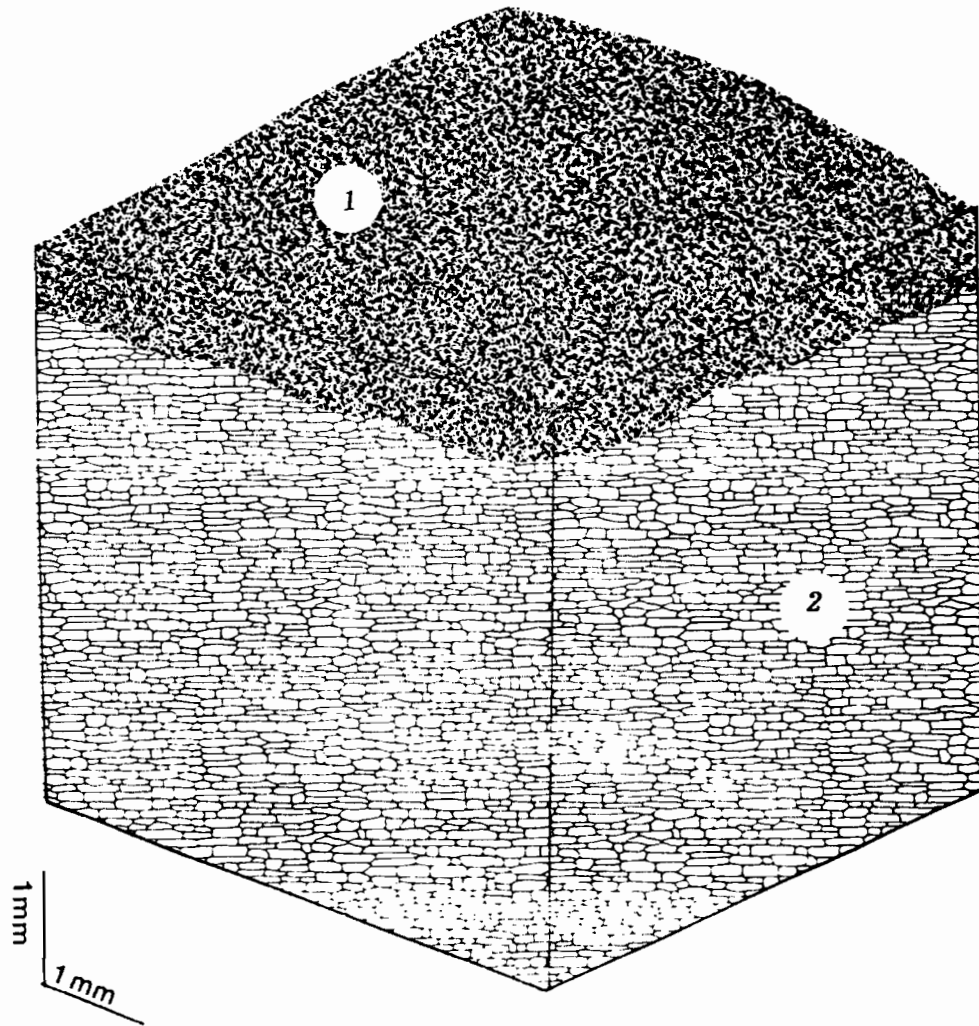


FIG. 6 : SURFACE DE TYPE EROSION

Niamey n° 3

1 : PELLICULE PLASMIQUE FINE ET INDUREE

2 : MATRICE DE L'HORIZON SOUS JACENT COMPACTEE

9°- CONCLUSION :

La première campagne de simulation de pluie menée à Niamey avait défini les grandes catégories de surfaces perméables liées au paysage urbain des villes d'Afrique de l'ouest et avait mis en évidence l'existence et l'importance de micro-horizons de surface (BOUVIER 1986).

Les résultats qui viennent d'être présentés laissent penser que la typologie des états de surface proposée par CASENAVE et VALENTIN 1987 pour les milieux sahéliens, naturels et cultivés s'applique également en milieu urbain (tableaux 1, 2, 3, 4). Une telle analogie est probablement due au fait que la typologie repose essentiellement sur la description de microhorizons identiques dans les deux cas.

L'attention du descripteur doit cependant se porter sur les horizons d'apports. Ceux-ci, dans la majorité des cas sont composés de sols latéritiques sur pistes carrossables, cours d'écoles et places publiques, ou de remblais d'origines diverses (gravats, déchets ménagers) dans les cours familiales. Ces "sols" d'apports sous-jacents ou affleurants favorisent le ruissellement, c'est pourquoi, il a été nécessaire d'introduire une variante spécifique aux sols "urbains".

Cette variante, caractérisée par la présence d'un horizon sous-jacent hyper compactée sur type de surface répertorié dans la typologie CASENAVE et VALENTIN, traduit une augmentation du ruissellement et donc une réduction sensible du coefficient d'infiltration de l'ordre de 30%.

L'étude des états de surface de ces sols démontre que les sols "urbains" souvent remaniés et d'apport en matériaux divers, ne sont pas prépondérants quant à l'origine du ruissellement. Les états de surface au sens strict du terme, c'est-à-dire la végétation, les premiers micro-horizons du sol et micro-relief induisent le ruissellement et déterminent son évolution.

Les principaux facteurs liés à la formation de ces croûtes de surface sont l'absence de matières organiques, de couverts végétaux et de micro-reliefs liés au travail du sol. Nous l'avons constaté ces paramètres sont tous présents en milieu urbain.

Aussi est-il envisageable, afin d'extrapoler les résultats de ces parcelles expérimentales d'un mètre carré au bassin versant urbain, d'avoir recours à une cartographie fine des états de surface sur le modèle VALENTIN 1986. Cette méthode associée à l'interprétation de photos aériennes récentes, l'extension des villes africaines étant rapide, pourrait permettre de déterminer les différents états de surface et leur pourcentage d'occupation du bassin et par là même les coefficients d'infiltration de celui-ci.

BIBLIOGRAPHIE:

BOUVIER (J.C.), 1987 : Intérêts de campagnes de mesure de ruissellement sous pluies simulées pour la mise au point d'un modèle de ruissellement urbain. Gouttes et Splash, volume 4 n°1.

CHEVALLIER (P), 1982. Simulation de pluie sur deux bassins versants sahéliens (Mare d'Oursi, Haute Volta). Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, pp 253-297.

CASENAVE (A.), 1982. Le mini-simulateur de pluie. Conditions d'utilisation et principes de l'interprétation des mesures. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 4, PP 207-227.

CASENAVE (A.), VALENTIN (C.), 1987 : Les états de surface de la zone sahélienne. Influence sur l'infiltration. Multigr.. 150 pp.. Diffusion restreinte.

COLLINET (J), LAFFORGUE (A), 1979. Mesures de ruissellement et de l'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute volta. ORSTOM Abidjan, 129p., multigr., 123 fig. hors texte.

JANEAU (J.L.), 1987. Rapport de mission au TOGO. Cartographie des états de surface de deux bassins versants. ORSTOM Abidjan, 12 p., 3 tableaux, multigr..

VALENTIN (C.), 1981. Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-Niger). Dynamique et conséquences sur l'économie en eau : Thèse de 3°cycle, Univ. Paris VII, Etudes et thèses, ORSTOM, 1985, 259 P..

VALENTIN (C.), 1986. Différencier les milieux selon leur aptitude au ruissellement : une cartographie adaptée aux besoins hydrologiques. Journées hydrologiques de l'ORSTOM à Montpellier. ORSTOM, colloques et séminaires, pp 50 - 74.

ANNEXE N°1

DEFINITION DES SURFACES ELEMENTAIRES :

d'après la typologie de CASENAVE et VALENTIN.

SURFACE DE TYPE CULTIVE 3 : C3 . Figure n° 6.

Surface cultivée dont la porosité vésiculaire est supérieure à 30%. Cette surface est généralement associée à une pellicule de ruissellement dominante.

ABIDJAN (YOPOUGON) : Parcelle N° 4

SURFACE DE DESSICATION : DES . Figure n° 5 a et b.

Surface non cultivée présentant moins de 20% de turricules de vers et moins de 40% de charge grossière, sans pellicule ou avec une pellicule de dessiccation. On trouve généralement ces surfaces sur les sols sableux associés à des couvertures végétales supérieures à 50%.

ABIDJAN (YOPOUGON) : Parcelle N° 5

LOME : " N° 6

SURFACE DE TYPE STRUCTURALE 2 : ST2 . Figure n° 4.

Surface non cultivée présentant moins de 20% de turricules de vers et moins de 40% de charge grossière, couverte d'une pellicule structurale à deux micro-horizons (sable grossier continu, légèrement pris en masse recouvrant une pellicule plasmique).

LOME : Parcelle N° 4

NIAMEY : " N° 1

SURFACE DE TYPE STRUCTURALE 3 : ST3 . Figure n° 2.

Surface non cultivée présentant moins de 20% de turricules de vers et moins de 40% de charge grossière, couverte d'une pellicule structurale à trois micro-horizons (sable grossier libre sur du sable fin pris en masse reposant sur une pellicule plasmique, à forte porosité vésiculaire).

ABIDJAN (YOPOUGON) : Parcelle N° 1, 3 et 2, 6 (variante SDL)

LOME : " N° 1, 2, 3, 5

OUAGADOUGOU : " N° 2, 4, 6 (variante SDL)

NIAMEY : " N° 4, 5, 6

Possibilité de variante en zone urbaine : variante sur sol à horizon à drainage limité, Ki de 5 à 15 % .

SURFACE DE TYPE GROSSIER : G. Figure n° 1.

Surface non cultivée présentant moins de 20% de turricules de vers et plus de 40% de charge grossière, les éléments grossiers étant enchâssés dans une pellicule à 3 micro-horizons (sable grossier, sable fin, pellicule plasmique).

OUAGADOUGOU : Parcelle N° 1, 3, 5
NIAMEY : " N° 2

SURFACE DE TYPE EROSION : ERO. Figure N° 3.

Surface non cultivée présentant moins de 20% de turricules de vers et moins de 40% de charge grossière, couverte d'une pellicule d'érosion.

NIAMEY : Parcelle N° 3.

ANNEXE N°2 : Notation des parcelles expérimentales.

<u>RUBRIQUE</u>	<u>NATURE DE LA VARIABLE</u>	<u>METHODE D'OBTENTION</u>
<u>RECOUVREMENT</u>		
Couvert végétal	%	Estimation visuelle in situ
Résidus	%	" " " "
Granulométrie (taille des constituants)	%	" " " "
		Argiles : moins de 0,002 mm
		Limons : 0,05 mm à 0,002 mm
		Sables fins : 0,2 mm à 0,05 mm
		Sables grossiers : 0,2 mm à 2 mm
		Gravillons et graviers
		libres : 2 mm à 20 mm
		Cailloux : > à 20 mm
<u>ORGANISATIONS DE SURFACE</u>		
Micro-relief	hauteur(en cm)	Mesure in situ de l'amplitude moyenne
	Obstruction	Notation in situ : 0: pas d'obstruction, 1: faible, l'obstacle est subparallèle à l'axe d'écoulement, 2: moyen l'obstacle est à près de 45°, 3: 45° < angle < 90°, 4: angle = 90°
Algues et mousses	couvert	Notation in situ: 0: absence, 1: traces, 2: pres de 5%, 3: pres de 15%, 4: >30%
Activité mésofaunique	couvert	Notation in situ du couvert des constructions mésofauniques
	porosité	Notation in situ : 0: absence 1: type placage de termite, 2: type turricule de vers, 3: type fourmillières.
Gravillons enchassés	%	estimation visuelle in situ
Fentes	largeur	Notation in situ, 0: absence, 1: <1mm, 2: <1mm et en réseau.

Hydromorphie de surface	abondance de taches	Notation visuelle in situ 0: absence, 1: traces, 2: taches de rouille peu nombreuses(<5% de la surface), 3: nombreuses(>5%). Ces taches se localisent généralement sur la face inférieure de la pellicule plasmique.
Prise en masse des sables	cohésion	Notation visuelle: 0: absence, 1: sables non pris en masse, 2: sables pris en masse couvrant moins de 50% de la surface, 3: couvrant plus de 50% de la surface.
Porosité vésiculaire	abondance des vésicules	Notation visuelle in situ 0: absence, 1:<5%, 2: entre 5% et 30%, 3: >30%.
Pellicules plasmiqes	continuité	Notation visuelle: 0: absence, 1: la pellicule est présente à l'affleurement ou sous les sables sur plus de 50% de la surface, 2: plus de 70%, 3: plus de 95%.
	épaisseur	Notation visuelle, 0: absence, 1: pellicule peu individualisée, 2: épaisseur de l'ordre de 0,5mm, 3: de l'ordre de 1mm.
Microhorizon	type	GC : grossier continu, GL : grossier libre, GI : grossier inclué, SP1 : sableux peu trié, SF : sableux fin, P : pellicule plasmique, PA : plasmique à agrégats, PF : plasmique à fentes, PC : plasmique continu.
Croûte	type	A: aucune, DES: dessiccation, ST1-2-3 : structurale 1-2-3 ERO : érosion, RUI : ruissellement, DEC : décantation, G : grossière, AUT : autres.

Erosion

type

Notation visuelle, 0: absence,
1: traces d'impact,
2: figures en piedestal peu
marquées,
3: bien marquées,
4: érosion en marches
d'escalier,
5: érosion linéaire.

SOL

profondeur
apparition
d'un horizon à
drainage limité

Notation d'après description
du profil pédologique, 0: absence
ou profondeur supérieure à 60cm,
1: entre 40cm et 60cm,
2: entre 20cm et 40cm,
3: <20cm.

texture
(0-20cm)

Notation tactile, 0: sableux,
1: sablo-argileux, 2: argileux.

porosité
(0-20cm)

Notation visuelle,
0: très poreux
1: assez poreux,
2: peu poreux,
3: très peu poreux.

hydromorphie
(0-20cm)

Notation visuelle d'après
indices de couleurs et taches,
0: absence,
1: traces,
2: quelques taches,
3: nombreuses taches ou
couleur bleutée.

classe de
drainage

Notation synthétique d'après
description du profil,
permeabilités estimées comme
0: très élevées,
1: élevée,
2: moyenne,
3: assez faible,
4: très faible,
5: quasi nulle à saturation

ANNEXE N°3 :

CALCUL DES COEFFICIENTS D'INFILTRATION FOURNIS DANS LES TABLEAUX DES VARIABLES CARACTERISTIQUES DE L'INFILTRATION :

Ki = SOMME DES LAMES INFILTREES / SOMME DES HAUTEURS DE PLUIES DE TOUTES LES AVERSES, EN % .

PARCELLE	Σ LAMES INFILTREES	Σ HAUTEURS DE PLUIES	KI
OUAGA 1	10,1+4,7+4,5 = 19,3	79,2+91,1+80,9 = 179,2	10,8
OUAGA 2	8,6+4,6+2,5 = 15,7	40,8+58,5+80,4 = 179,7	8,7
OUAGA 3	4,8+9,4+4,4 = 18,6	38,4+58,8+81,9 = 179,1	10,4
OUAGA 4	9,4+4,4+4,6 = 18,4	38,4+58,5+79,8 = 176,7	10,4
OUAGA 5	8,1+5+6,6 = 19,7	39+59,7+78,9 = 177,6	11
OUAGA 6	10,6+4,6+1,1 = 16,3	40,8+79,8+81,3 = 201,9	8
LOME 1	37,4+30,2+12,7 = 80,3	80+90,3+101,3 = 271,6	29,6
LOME 2	33,9+13,6+13,7 = 61,2	80,4+90+100 = 270,4	23,6
LOME 3	36,3+17,7+17,2 = 71,2	82+90,7+102 = 274,7	25,9
LOME 4	47,7+51,1+48,5 = 147,3	78+89+97,5 = 264,5	55,7
LOME 5	43,6+13,1+10,4 = 67,1	85+90+107 = 282	23,8
LOME 6	toute la pluie utile s'est infiltrée		100
ABIDJ 1	3+3+9 = 15	96+75+43 = 214	10,3
ABIDJ 2	5+4,3+12 = 21,3	112+88,3+114 = 314,3	6,8
ABIDJ 3	7,6+4,7+4 = 16,3	71,6+104,7+96 = 272,3	6
ABIDJ 4	36+11+18 = 65	98+98+98 = 294	22,1
ABIDJ 5	96+75+63 = 234	99+101+100 = 300	78
ABIDJ 6	10+9+11 = 30	94+97+101 = 292	10,2
NIAME 1	29,8+18,7+9,8+10,7 = 69	40+40+26,6+65 = 171,6	40,2
NIAME 2	16+9+4,5 = 29,5	81+72,8+78 = 231,8	12,7
NIAME 3	9,4+4,1 = 13,5	82+41 = 123	11
NIAME 4	19,2+9,7+7,4 = 36,3	78+35+68 = 181	20
NIAME 5	17,9+7 = 24,9	73,9+40 = 113,9	21,9
NIAME 6	21,7+10,6 = 32,3	77,7+78 = 155,7	20,8