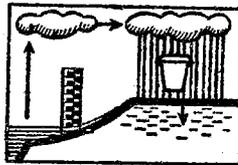
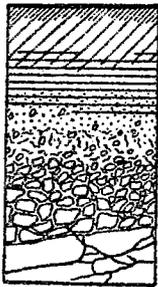


J. COLLINET

A. LAFFORGUE

**MESURES DE RUISSELLEMENT ET D'ÉROSION
SOUS PLUIES SIMULÉES POUR QUELQUES TYPES
DE SOLS DE HAUTE VOLTA**

(Texte)



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE - MER

CENTRE D'ADIOPODOUMÉ - CÔTE D'IVOIRE

B.P.V 51 - ABIDJAN



Mars 1979

MESURES LE RUISSELLEMENT ET D'EROSION SOUS
PLUIES SIMULEES POUR QUELQUES
TYPES DE SOLS DE HAUTE-VOLTA

(Minute du Texte)

Par

J. COLLINET et A. LAFFORGUE

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
LISTE DES SYMBOLES UTILISES	
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I - <u>Les composantes du milieu</u>	2
1.1. Cadre naturel des sites expérimentaux	2
1.1.1. Région du lac de BAM (Kougoussi)	2
1.1.2. Région du lac de Loumbila	3
1.2. Identification morpho-pédologique des sites expérimentaux	4
1.2.1. Les sites du lac de Bam	4
1.2.2. Le site du lac de Loumbila	10
1.3. Propriétés déduites des résultats analytiques	12
1.3.1. La texture	13
1.3.2. Le complexe absorbant	14
1.3.3. La matière organique et l'équilibre Azote- Phosphore	15
1.3.4. Quelques caractéristiques physiques déduites de tests de laboratoire	15
1.4. Conclusion partielle : validité des données mor- phologiques et analytiques dans les prédictions de l'hydrodynamique et de l'érodibilité des sols .	18
CHAPITRE II - <u>Dispositif de mesure et méthodologie</u>	20
2.1. Le dispositif expérimental	20
2.1.1. Le simulateur de pluie	20
2.1.2. Les parcelles	20
2.1.3. Les dispositifs de mesures	21
2.2. Les protocoles expérimentaux	22
2.2.1. Traitements subis par les parcelles	22
2.2.2. Caractéristiques des séquences pluvieuses ...	22

	<u>Page</u>
CHAPITRE III - <u>Les données d'observation</u>	26
3.1. Description générale des phénomènes observables	
Définitions.....	26
3.1.1. Les processus de ruissellement.....	26
3.1.2. Les processus d'érosion.....	29
3.2. Présentation des données de base obtenues.....	35
3.2.1. Les tableaux caractéristiques de ruissel-	
lement et d'érosion.....	35
3.2.2. Description comparative de quelques hydro-	
grammes et de quelques turbidigrammes.....	37
CHAPITRE IV - <u>Ruissellement et infiltration</u>	49
4.1. La phase d'imbibition.....	49
4.1.1. Rappels et justification de la méthode	
utilisée.....	49
4.1.2. Présentation et critique des résultats	
obtenus.....	54
4.2. La phase de vidange.....	57
4.2.1. Détention superficielle récupérable -	
Exploitation directe des données expéri-	
mentales.....	58
4.2.2. Détention mobilisable et deuxième approche	
d'une loi de vidange.....	59
4.2.3. Présentation, critique et examen des	
résultats.....	65
4.3. La phase de régime transitoire.....	68
4.3.1. Méthode de calcul des paramètres de Horton.	69
4.3.2. Application aux données expérimentales.....	72
4.3.3. Limites de la méthode et résultats obtenus...	73
4.4. La phase de régime permanent.....	77
4.5. Les lames ruisselées.....	79
4.5.1. Expression analytique de la hauteur de lame	
d'eau ruisselée.....	79
4.5.2. Susceptibilité au ruissellement des sols	
en l'état naturel.....	80
4.5.3. Influence du labour sur les quantités	
ruisselées.....	81
4.6. Résumé et conclusions partielles du chapitre.....	82

	<u>page</u>
CHAPITRE V - <u>Analyse de l'érosion</u>	85
5.1. Evolution de l'érosion sous intensité d'averse voisine de 60 mm/h.....	86
5.1.1. Comportement des parcelles n°1 (état naturel)	86
5.1.1.1. Les érosions globales.....	86
5.1.1.2. Les érosions partielles, vers un classement des érodibilités.....	87
5.1.2. Comportement des parcelles n° 2 (labourées) et étude comparative des deux parcelles...	95
5.1.2.1. Les érosions globales.....	95
5.1.2.2. Les érosions partielles.....	96
5.2. Evolution de l'érosion sous des averses d'intensités variées.....	101
5.2.1. Remarques préliminaires.....	101
5.2.2. Erosions globales comparées entre les deux parcelles pour des averses d'intensités croissantes.....	103
5.2.3. Evolution de l'érosion par site et par classe d'intensité.....	103
5.2.3.1. Parcelles PNI 13.....	103
5.2.3.2. Parcelles PNI 12.....	104
5.2.3.3. Parcelles PNI 11.....	104
5.2.3.4. Parcelles SPO 21.....	105
5.2.3.5. Parcelles SPO 22.....	106
5.2.3.6. Parcelles BIG 32.....	107
5.2.3.7. Parcelles LBA 41.....	107
5.2.4. Influence des variations d'intensité sur les principales composantes de la turbidité....	108
5.2.4.1. Influence de l'intensité d'averse sur Cx.....	108
5.2.4.2. Influence de l'intensité d'averse sur Cs.....	109
5.3. Evolution de l'érosion sur parcelles soumises à différents traitements cultureux.....	110
5.3.1. Protocoles et résultats.....	110
5.3.2. Etude comparative des différentes situations	111
5.3.2.1. Influence de ces techniques culturales sur le ruissellement et l'infiltration.....	111
5.3.2.2. Influence des techniques culturales sur l'érosion.....	114

	<u>page</u>
5.4. Comparaison de l'érodibilité des différents sites à l'aide d'une équation de prédiction de l'érosion.....	117
5.4.1. Objectif et démarche méthodologique.....	117
5.4.2. Résultats.....	118
5.4.3. Commentaires.....	121
CONCLUSIONS.....	123
BIBLIOGRAPHIE.....	127

Définition des principaux symboles utilisés

t_0 (= 0)	Instant du début de l'averse
t	Temps compté à partir du début de l'averse
t_p	Instant d'apparition des flaques
t_i	Instant d'apparition du ruissellement (durée de l'imbibition)
t_s	Fin du remplissage des flaques
t_m	Fin du régime transitoire de ruissellement et d'infiltration
t_u	Instant de l'arrêt de la pluie (durée de l'arrosage)
t_f	Arrêt du ruissellement
t_{cs}	Temps correspondant au maximum de turbidité
t_c	Instant d'apparition de l'érosion par cisaillement
t_a	Intervalle de temps séparant deux averses consécutives
T ou t_e (= $t - t_i$)	Temps compté à partir du début du ruissellement (temps efficace)
τ (= $t - t_u$)	Temps compté à partir de l'arrêt de la pluie
τ_f (= $t_f - t_u$)	Durée de vidange de la parcelle
$\dot{i}(t)$	Intensité de l'arrosage
I_m	Valeur moyenne de $I(t)$ pour arrosage à intensité constante
$R(t)$	Intensité du ruissellement (moyenne sur la parcelle)
R_x	Valeur maximale de R (en régime permanent)
$F(t)$	Intensité de l'infiltration (moyenne sur la parcelle)
F_N (= $I_m - R_x$)	Valeur minimale de F (en régime permanent)
F_0 et F_1	Valeurs respectives de F aux temps t_0 et t_1
$P(t)$	Hauteur cumulée de précipitation depuis le début de l'averse
P_p	Pluie cumulée au temps t_p (pluie d'imbibition préalable)
P_i	Pluie cumulée au temps t_i (pluie d'imbibition)

Définition des principaux symboles utilisés (Suite 1)

P_u	Pluie cumulée au temps t_u (hauteur totale de l'averse)
$P_e (= P_u - P_i)$	Pluie efficace (ayant donné lieu à du ruissellement)
SP_u	Hauteur de précipitation cumulée depuis le début des essais
$L(t)$	Hauteur de la lame d'eau ruisselée au temps t
L	Hauteur totale de la lame d'eau ruisselée relative à une averse
SL	Lame d'eau ruisselée cumulée depuis le début des essais
$K_r (= 100L/P_u)$	Coefficient de ruissellement
$W(t)$	Hauteur de lame d'eau infiltrée depuis le début de l'averse
$W_p (= P_p)$	Hauteur d'eau infiltrée au temps t_p
W_i	Hauteur d'eau infiltrée au temps t_i
W_f	Hauteur d'eau infiltrée entre les temps t_u et t_f
SW	Lame d'eau infiltrée cumulée depuis le début des essais
$S(t)$	Hauteur de la lame d'eau stockée en surface par flaques
S_i	Valeur de S au temps t_i
S_m	Hauteur stockée en surface entre les temps t_i et t_m
S_f	Valeur de S au temps t_f
$D_m(t)$	Hauteur de détention superficielle mobilisable au temps t
D_r	Détention superficielle récupérable pour le ruissellement
$C(t)$	Charge solide (turbidité) au temps t
C_s	Valeur maximale de C
C_x	Valeur de C correspondant à un palier de turbidité.
C_u	Valeur de C au temps t_u (fin du ruissellement)
C_{st}	Charge solide initiale des eaux de ruissellement
C_{sp}	Composante de C due à l'effet splash

Définition des principaux symboles utilisés (Suite 2)

C_n	Composante de C dûe à l'érosion en nappe
C_c	Composante de C dûe à l'érosion par cisaillement
$C_m(t)$	Turbidité moyenne des eaux entre les temps t_1 et t
$Q(t)$	Débit solide spécifique (par unité de surface) au temps t
Q_{st}	Composante de Q telle que $Q_{st} = C_{st} \cdot R$
Q_{sp}	Composante de Q telle que $Q_{sp} = C_{sp} \cdot R$
Q_n	Composante de Q telle que $Q_n = C_n \cdot R$
Q_c	Composante de Q telle que $Q_c = C_c \cdot R$
$E(t)$	Masse de terre spécifique érodée cumulée.

INTRODUCTION

Différents travaux, dont ceux qui ont été réalisés par l'ORSTOM sur bassins versants représentatifs ou parcelles expérimentales ont mis en évidence l'importance des phénomènes d'érosion et de ruissellement en zone soudano-sahélienne. D'après certaines de ces études, ces phénomènes peuvent en grande partie être expliqués par une dénudation quasi-générale des sols en fin de saison sèche. Cette dénudation, souvent aggravée par les activités agricoles ou pastorales favorise la formation de pellicules de battance plus ou moins étendues et épaisses qui s'opposent à l'infiltration et entraînent localement des coefficients de ruissellement ainsi que des taux d'érosion spécifique élevés.

Cependant, sous pluies naturelles, les possibilités d'analyse et d'interprétation des résultats issus de ces travaux sont limitées par la complexité des interactions existant entre de nombreux paramètres dont les valeurs ne sont pas maîtrisables par l'observateur.

Pour tenter d'atteindre une meilleure compréhension de ces phénomènes, l'ORSTOM met en oeuvre depuis 1975 un simulateur de pluie qui permet la programmation à l'échelle de la parcelle de séquences pluvieuses à caractéristiques données : intensités, durées et intervalles de temps entre averses. Il est ainsi possible d'étudier le comportement résultant de différentes catégories de sols et de tester isolément les influences de facteurs tels que pente topographique, état d'humectation initial, nature et importance du couvert végétal, techniques culturales, etc...

Le présent rapport rassemble les principaux résultats expérimentaux obtenus avec ce dispositif au cours d'une première campagne de mesures.

Dans le cadre de l'action urgente DGRST d'aide au SAHEL, cette campagne s'est déroulée en HAUTE-VOLTA durant le deuxième trimestre de 1975 sous la responsabilité d'une équipe du Centre ORSTOM d'ADIOPODOUME (CÔTE D'IVOIRE) comprenant :

- J. ASSELINE et J. COLLINET (pédologues) du 3 mars au 3 juin,
- A. LAFFORGUE (hydrologue) du 17 mars au 4 avril et du 21 au 25 avril,
- E. ROOSE (pédologue) du 22 au 23 mars puis du 29 mars au 2 avril,

avec le concours des hydrologues du Centre ORSTOM de OUAGADOUGOU, G. DUBOIS, R. DUMAS, P. LEDUC et B. POUYAUD, présents à tour de rôle sur le terrain du 20 mars au 18 mai 1975.

CHAPITRE I

LES COMPOSANTES DU MILIEU

1.1. Cadre naturel des sites expérimentaux :

Le choix des sites expérimentaux a été guidé par trois impératifs :

- représentativité optimale sur les plans pédologique et agricole du domaine soudano-sahélien,
- proximité d'importantes réserves d'eau,
- facilité d'accès pour pouvoir acheminer et mettre en oeuvre un important matériel.

Une première reconnaissance effectuée l'année précédente par E. ROOSE et J. ASSELINE avait permis de retenir une dizaine de zones répondant à ces préoccupations. Dès l'arrivée du matériel en HAUTE-VOLTA, des prospections complémentaires ont abouti à la sélection de deux sites : Lac de BAM et Lac de LOUMBILA (cf. fig. n° 1).

1.1.1. Région du lac de BAM (KONGOUSSI) :

Climat :

La station du lac de BAM reçoit annuellement 665 mm de pluies avec des maximums centrés sur les mois de juillet ou d'août, selon les années ; la saison des pluies commence en effet entre le 10 et le 15 juin et se termine entre le 10 et le 18 octobre. Sept mois sont écologiquement secs (moins de 30 mm). L'évaporation y approche annuellement 3 000 mm avec un maximum en avril ou mai (350 à 400 mm) et un minimum en août - septembre (150 à 200 mm). On observe la température la plus élevée en juin et novembre (supérieure à 30°C)*, par contre, celle-ci descend aux environs de 25°C en janvier et en août. L'humidité relative est très faible en saison sèche (20 à 25 % en mars) et remonte considérablement en septembre et octobre (70 à 80 %).

Comme l'ont souligné de nombreux auteurs ayant eu l'occasion de travailler dans ces régions (R. BOULET-1968-, B. KALOGA-1969-, J.C. LEPRUN-R. MOREAU-1968-, E.J. ROOSE-1971) : les premières pluies, faibles et espacées sont souvent insuffisantes pour la végétation du fait de l'antagonisme précipitation-évaporation, d'où la notion de "pluies utiles" susceptibles d'assurer un départ correct de la végétation (germination, croissance). Elles-ci s'étendraient de la mi-juin à la mi-septembre, malheureusement les variations interannuelles sont souvent importantes aussi les semis doivent-ils être fréquemment recommencés.

L'étude de Y. BRUNET-MORET (1963) permet de dégager certaines indications sur les caractéristiques d'averses exceptionnelles : dans cette région, la hauteur journalière de probabilité annuelle est de 55 mm avec,

* Il s'agit de la température moyenne mensuelle.

pour la même probabilité, des intensités-durées de 30 mm/H en 75 mn, 60 mm/H en 28 mn, 90 mm/H en 12 mn et 100 mm/H en 10 mn. La hauteur journalière de probabilité décennale est proche de 100 mm avec des intensités-durées de 30 mm/H en 2h 30, 60 mm/H en 55 mn, 90 mm/H en 25 mn et 120 mm/H en 15 mn.

Géologie-Modelé :

Les formations birrimiennes y affleurent largement, il s'agit surtout de roches cristallophylliennes : schistes pélitiques et quartzites (chainons de ST PAUL) recoupées par quelques formations post-tectoniques de faible extension, telles que par exemple les affleurements de syénites dominant la séquence de POUNI.

Le modelé se présente sous la forme d'une surface faiblement ondulée de quelque 300 m d'altitude d'où émergent des plateaux cuirassés, des collines à sommet plan-convexe à affleurements gravillonnaires parfois eux-mêmes dominés par d'autres reliefs à affleurement rocheux (syénites de POUNI, quartzites de ST PAUL, chloritoschistes de BATANGA). Les versants de raccord sont concaves, très pentus sur une centaine de mètres, puis rectilignes sur environ un kilomètre avec des pentes de 0,5 à 1,5 %. Depuis le sommet de ces témoins culminant à rarement plus de 350 m on découvre à environ 8 km au sud l'importante barrière des alignements de plateaux à cuirasse bauxitique (+ 500 m) qui ferme l'horizon.

Végétation :

La formation végétale naturelle est une savane arborée. Nous nous trouvons en effet à quelque 100 km au sud de la limite des steppes et savanes arbustives plus caractéristiques du domaine sahélien. La composition de cette savane arborée traduit, aux environs de KONGOUSSI, une forte influence de l'homme qui y a favorisé le développement d'espèces utiles (Karité, Baobab, Tamarinier). Tous les essais ont été effectués à une époque de l'année où la strate herbacée avait complètement disparu, ou encore, plus près du lac, sur des jachères de parcelles cultivées en mil, sorgho, coton laissant un sol presque entièrement dénudé.

1.1.2. Région du lac de LOUMBILA :

Climat :

La pluviométrie y atteint 900 mm de moyenne interannuelle, les maximums des précipitations sont légèrement décalés par rapport à KONGOUSSI, ils se situent ici en août et septembre, 6 mois restent écologiquement secs. Les autres données climatiques (température, humidité, évaporation) ne diffèrent pas sensiblement de ce qui a été indiqué pour caractériser la région précédente.

Géologie-Modelé :

Le substratum est constitué par des granites birrimiens calco-alcalins alternant avec des granites migmatitiques plus acides, repérés à quelques kilomètres au nord de LOUMBILA.

Le "Plateau MOSSI" est en fait une surface très largement ondulée. Les interfluves atteignent 4 à 5 km d'extension latérale, leur sommet plan-convexe est plus souvent constitué d'affleurements gravillonnaires que de cuirasses, ce qui différencie cette région de celle du lac de BAM. Les versants sont rectilignes et très peu pentus (0,5 à 1,5 %), leur limite aval, où prédominent les processus d'hydromorphie se repère assez facilement sur le terrain par une rupture de pente de quelques décimètres.

Végétation :

Il s'agit encore de la savane arborée rappelant celle que l'on pouvait découvrir plus au nord. On note cependant une dégradation plus importante de la strate arborée continuellement exportée comme bois de chauffe dans toute cette zone à plus forte densité de population. Les essais se déroulèrent sur des jachères de mil-sorgho-arachide, situées au tiers supérieur d'un versant. Les bas de versant, en partie ennoyés par le lac de LOUMBILA sont actuellement le lieu d'importants aménagements pour permettre la riziculture irriguée.

1.2. Identification morpho-pédologique des différents sites expérimentaux :

1.2.1. Les sites du lac de BAM :

En reprenant, dans un premier temps, les travaux de R. BOULET (1968), il est possible de caractériser rapidement cette première région (cf. fig. n° 2). Cet auteur y a identifié les sols ou associations de sols suivants (désignés dans les termes de la classification CPCS) :

- en rive ouest du lac, jusqu'au déversoir et dans la vallée de la BIZIGUI, prédominent des sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley, plus ou moins concrétionnés ; il leur est souvent associé, sur les points hauts à meilleur drainage des sols ferrugineux peu lessivés sableux à sablo-argileux,
- en rive est, depuis le déversoir jusqu'à l'extrémité nord du lac, les reliefs sont plus fréquents et il s'y différencie :
 - sur les sommets et piémonts des collines birrimiennes : des lithosols, régosols, sols peu évolués d'érosion sur affleurement de cuirasse, ou sur nodules ferrugineux, ou encore sur roches peu altérées (quartzites, syénites),
 - les longs versants sont plutôt occupés par des sols ferrugineux tropicaux, lessivés à tâches et concrétions,
- aux environs de BATANGA, au nord du lac : des sols bruns eutrophes, vertiques se sont formés à proximité des affleurements de chloritoschistes.

D'après R. BOULET, il a pu se développer sur cette "surface fonctionnelle" des sols considérablement plus épais pendant des phases climatiques plus humides. Les sols, observés actuellement seraient donc polyphasés ; on retrouve effectivement sur schistes des altérations de type ferrallitique. Ces sols furent ensuite plus ou moins érodés, parfois jusqu'aux altérites ; des niveaux d'éléments grossiers provenant soit du démantèlement des cuirassements amonts, soit du remaniement d'altérites indurés vinrent par la suite les surmonter. Les matériaux meubles de bas de versant

pourraient avoir une origine colluviale, ou éolienne ancienne, ou encore alluviale dans certains cas.

Des prospections plus détaillées ont permis de sélectionner dans cette région, les sites expérimentaux de POUNI, SAINTE-PAUL et BATANGA correspondant aux trois types de paysages morpho-pédologiques qui nous ont semblé les plus représentatifs.

Site expérimental de POUNI :

Dans ce premier type de paysage, l'interfluve se présente de la façon suivante (cf. fig. n° 3) : la partie amont est constituée par une colline à affleurements rocheux, séparée par une amorce de dépression périphérique, d'un plateau cuirassé dominant de 2 à 4 m un long versant d'abord concave, puis rectiligne, jusqu'aux rives actuelles du lac. Chaque portion d'interfluve possède une morphologie (inclinaison, dénivellation, longueur et profil de pente et un contenu-sol particuliers. C'est ainsi que l'on peut distinguer au moins 6 portions d'interfluve, dénommées actuellement "segments morpho-pédologiques" ou "segments pédologiques" et qui sont :

- 1 : la colline à affleurements rocheux,
- 2 : soit immédiatement le segment de la zone de raccordement (a) très pentu et concave correspondant au piedmont à affleurements gravillonnaires et rocheux, soit à la dépression périphérique (b),
- 3 : un plateau à affleurement sommital de cuirasse et de nodules ferrugineux,
- 4 : une nouvelle zone de raccordement s'identifiant au segment 2a en l'absence des segments 2b et 3, qui est concave et dont les pentes oscillent entre 7 et 15 % sur une cinquantaine de mètres,
- 5 : la partie amont du versant rectiligne, nettement moins pentue (1 à 3 %) où affleurent les nodules ferrugineux sur 500 m;
- 6 : les parties médianes et aval du même versant rectiligne moins pentues (0,5 à 1 %) s'étendant sur 500 à 700 m jusqu'aux rives du lac sans affleurements d'éléments grossiers,
- le ou les derniers segments sont actuellement ennoyés par le lac de BAM.

Premier couple de parcelles : POUNI 11 (PNI 11) :

Il fut installé sur le segment pédologique n° 4. A son niveau, on découvre surtout des lepto-apexols argileux sur gravolite puis alté-gravolite ou des lepto-apexols gravillonnaires sur gravolite puis altérite. La pente atteint 7,5 %, le pédon se présente de la façon suivante (typologie succincte) :

- surface du sol : épilite gravolique à stigne régolique (cailloux et blocs de syénite), aucune strate herbacée, un buisson d'épineux pour 10 m², aucun micro-relief mais quelques rigoles d'érosion tous les 5 à 7 m (largeur 20 à 30 cm, profondeur 5 à 20 cm incisant le structi-gravolite,
- 0/45 cm : Structi-gravolite à stigne régolique, humique jusqu'à -20 cm, à phase humique au-delà, argilo-sableux puis argileux, brun-rougeâtre

(5YR5/4), nodules ferrugineux mal classés (10 à 25 mm de \emptyset), transition graduelle et régulière,

- 45/90 cm : Structi-gravolite à stigne altéritique, très argileux, rouge (2,5Y4/8). Phase structichrome anguclide très fine, nodules ferrugineux de 7 à 10 mm de \emptyset . Transition distincte et ondulée,
- 90/180 cm : Allotérite structichrome à stigne gravolique, rouge grenat et violacé, argileux. Phase structichrome pauciclude. Transition distincte et irrégulière,
- 180/210 cm : Isaltérite à phase structichrome, rouge vif, jaune pâle, violacé.

Deuxième couple de parcelle : POUNI 12 (PNI 12) :

Il est situé sur le segment n° 5, son contenu-sol est le suivant : affleurement de gravolite, lepto-apexols gravillonnaires sur gravolite ou alté-gravolite puis stéri-gravolite, lepto-apexols gravillonnaires sur gravolite puis stéri-altérite. Aux processus d'érosion et de pédoplasmatation s'ajoute une tendance à l'induration.

La pente est de 2,5 % et le pédon se présente de la façon suivante :

- surface du sol : épilite gravolique continu, aucune strate herbacée, aucune strate arbustive mais 30 % de la surface du sol couverts par des chaumes de sorgho (culture de l'année), micro-relief généralisé : ondulations périodiques (0,7 à 1 m) de faible amplitude (5 à 10 cm) correspondant à d'anciennes buttes de culture effondrées,
- 0/15 à 20 cm : Gravolite structichrome, humique, appauvri, sablo-argileux, brun-rougeâtre (5YR4/3), nodules ferrugineux (5 à 15 mm de \emptyset) et litho-reliques ferruginisées. Phase structichrome pauciclude moyenne, très poreux, racines fines,
- 15 à 20/40 cm : Structi-gravolite à phase humique, argileux, rouge-jaunâtre (5YR5/6), 2/3 de nodules et 1/3 de litho-reliques, poreux, quelques racines fines. Transition graduelle et régulière,
- 40/90 cm : Alté-gravolite à stigne graveleux, argileux, jaune-rougeâtre (5YR6/6), 3/4 de litho-reliques, 1/4 de nodules et fragments de schistes altérés; non ferruginisés, rares tubes larges à argilanes épais. Transition graduelle et régulière,
- 90/140 cm : Stéri-altérite à phase gravolique, argileux,
- 140/200 cm : Allotérite à phase réti-chrome, argileux, rouge et brun très pâle (10R5/6 et 10YR8/3), porosité moyenne).

Troisième couple de parcelles : POUNI 13 (PNI 13) :

Il fut installé sur le sixième segment caractérisé par la contenu-sol suivants : brachy et ortho-apexols appauvris, argilo-sableux sur alté-rétichron ou sur structi-rétichron à réti-structichron. On note une disparition des gravolites, une réti-chromation restant discrète et des caractères

altéritiques apparaissant toujours à moins de 1,50 m. Le pèdon suivant a été caractérisé près des parcelles, la pente n'est plus que de 0,9 % :

- surface du sol : épilite gravolique en flots de faible extension et de faible épaisseur, 5 % du sol couverts par des chaumes de mil, une touffe de graminées sèches et érigées tous les 3 m, micro-relief peu important : ondulations aperiodiques de faible amplitude (2 à 5 cm), pellicule de battance généralisée (2 à 5 mm),
- 0/30 cm : Appumite à stigme gravolique, sablo-argileux à argilo-sableux et brun-rougeâtre (5YR5/3 passant à 5YR4/4), pauciclode grossier à très grossier (fissurations tous les 15 à 20 cm descendant jusqu'à 10 à 12 cm) passant à angu-pauciclode moyen vers -15 cm, très poreux fin tubulaire. Transition graduelle régulière,
- 30/56 cm : Structichron dyscrophe à stigme gravolique, argilo-sableux, rouge (3,75YR4/5), pauci-anguclode moyen, poreux fin tubulaire, Transition distincte et régulière,
- 56/90 cm : Structichron à phase gravolique, argilo-sableux, rouge-jaunâtre (5YR4/6), angu-pauciclode fin, peu poreux fin tubulaire. Transition distincte et régulière,
- 90/125 cm : Structi-rétichron à stigme altéritique et à stigme oxyque argilo-sableux, rouge-jaunâtre (5YR4/6) taché de jaune-brunâtre (10YR4/6) taché de jaune-brunâtre (10YR6/8), nodules sesquioxydiques noirs, friables, 5 à 10 mm de \varnothing , pauciclode fin, peu poreux fin tubulaire. Transition diffuse, régulière,
- 125/175 cm : Structi-rétichron altéritique (augmentation des fragments de schistes altérés, non ferruginisés dans un matériau s'apparentant au précédent).

Site expérimental de SAINT-PAUL :

L'interfluve caractéristique de ce deuxième type de paysage peut se subdiviser en 4 segments pédologiques qui sont (cf. fig. n° 4) :

- 1 : la crête de quartzite, dont une extrémité surplombe le lac de BAM, étroite à versants rectilignes très pentus (40 %) sur 50 à 70 m, à affleurements rocheux épars,
- 2 : un petit glacis de piedmont large de quelque 15 à 20 m avec une pente de 5 à 6 %. Celui-ci est occupé par des sols sableux peu épais à nombreux fragments rocheux ; cet étroit glacis est discontinu,
- 3 : un long versant rectiligne de 2 à 2,5 % de pente, s'étendant sur 700 à 1 000 m limité à l'amont par une discrète rupture de pente lorsque le glacis de piedmont existe ou directement au contact des versants rocheux du premier segment, les sols y sont sableux à sablo-argileux, profonds et dépourvus d'éléments grossiers,
- 4 : un bas-fond plan, non ou peu encaissé, localement large de quelques dizaines de mètres et occupé par des sols argilo-sableux à sablo-argileux hydromorphes.

Premier couple de parcelles : SAINT-PAUL 21 (SPO 21) :

Les parcelles furent aménagées sur le petit glacis de piedmont (2ème segment) souvent encombré de blocs de quartzites et supportant des sols trop peu épais pour pouvoir être cultivés. La pente atteint 4,5 % et le pèdon au niveau du couple de parcelles se présente de la façon suivante :

- surface du sol : aucune strate herbacée mais un buisson d'épineux pour 5 m², recouvrement très lâche par un cailloutis de quartzite (10 à 15 %), pellicule de battance de 5 mm continue, consolidée par des algues ou lichens, rigoles d'érosion anastomosées laissant apparaître par endroit la dalle de quartzite,
- 0/10 à 15 cm : Appumite à phase régolique, sableux, brun (10YR5/3 sec.), psammoclode, très poreux, transition distincte, ondulée,
- 10 à 15/25 cm : Régo-appumite, sableux, brun pâle (10YR6/3 sec.), psammoclode, graviers, cailloux, rares blocs de quartzites altérés, légèrement ferruginisés, très poreux. Transition graduelle, régulière,
- 25/70 cm : Alté-régo-lite, sableux, jaune (8,75YR7/6 sec), psammoclode, blocs et cailloux de quartzites alignés, altérés, ferruginisés en auréoles rouilles et rouge vif,
- 70 cm : Régolite, dalle de quartzite peu altéré, en place.

Il s'agit d'un lepto-apexol sableux sur alté-régo-lite dont le développement est limité en moyenne vers 60 cm par la roche mère en place. Il est vraisemblable que celle-ci soit fissurée par endroit ce qui permettrait un drainage profond (les affleurements de quartzite sont souvent diaclasés à cet endroit). Les principaux processus pédologiques sont ici : érosion par désagrégation des blocs en éléments plus fins, altération du ciment plus ou moins feldspathique de ces quartzites, la pédoplasation reste cependant faible du fait de la disproportion entre les sources de silice et d'alumine, on note une discrète ferruginisation des éléments altérés.

Deuxième couple de parcelles : SAINT PAUL 22 (SPO 22) :

Il a été établi à peu près au milieu du segment n° 3 ; son contenu sol est le suivant : ortho-apexols prédominants, quelques brachy-apexols, appauvris ou lessivés sablo-argileux sur structi-rétichron, réti-structichron, les rétichrons à phase réductique deviennent plus nombreux vers l'aval.

A proximité des parcelles SPO 22, on a pu caractériser le pèdon suivant :

- surface du sol: chaumes de sorgho coupé à 20, 30 cm tous les 50 cm, plantés en sommets de buttes plus ou moins effondrées après la récolte (microreliefs d'environ 10 cm de hauteur au moment des expérimentations) ; 2 à 3 blocs de quartzite pour 50 m² (vraisemblablement reliquat de démantèlement d'anciennes murettes) ; pellicule de battance généralisée en sommet des buttes et colluvions sableux dans les dépressions,
- 0/23 cm : Appumite sableux fin, brun jaunâtre clair (10YR6/4 sec), psammoclode passant à amérode assez cohérent en limite inférieure, fissures tous

Les 70 cm ne débouchant pas en surface, descendant jusqu'à 80, 100 cm, très poreux fin à grossier tubulaire. Transition distincte, régulière,

- 23/40 cm : Structichron dyscrophe homogène, sablo-argileux, brun-rougeâtre (5YR5/4 sec), amérode très cohérent, très poreux fin et moyen tubulaire. Transition distincte, régulière,
- 40/95 cm : Structichron argilique, sablo-argileux, rouge-jaunâtre (5YR5/6 sec), amérode cohérent, très poreux grossier à très grossier tubulaire et vacuolaire, argilanes épais sur beaucoup de tubes. Transition distincte, régulière,
- 95/150 cm : Structichron rétichrome à phase graveleuse et gravillonnaire, à stigme régolique, sablo-argileux, rouge jaunâtre et rouge vif, amérode cohérent, poreux grossier. Transition graduelle régulière,
- 150/190 cmm : Rétichron à phase réductique et à stigme graveleux, sablo-limoneux, brun-jaunâtre clair (10YR6/4 sec), rouge-jaunâtre clair (5YR5/8 sec), blanc (10YR8/1 sec) associé aux porosités, amérode, poreux fin et moyen tubulaire, argilanes épais, blancs, sur tubes moyens.

Il s'agit d'un ortho-apexol lessivé sur rétichron. Il faut souligner un colmatage généralisé des premiers centimètres, une fissuration profonde, une porosité importante sur l'ensemble du profil ; on retient les processus suivants : pédoplasation, rétichromation ; lessivage avec formation d'un horizon argilique, érosion en nappe.

Site expérimental de BATANGA :

A quelques 18 km au nord du site de SAINT-PAUL nous avons découvert à proximité du village de BATANGA les sols argilo-limoneux, plus ou moins vertiques identifiés et cartographiés par R. BOULET. Nous n'avons pu trouver le temps de caractériser en détail le type de paysage et les segments pédologiques qui contiennent ces sols. Retenons simplement que l'interfluve y atteint environ 2 000 m, qu'il est limité à l'amont par un chaînon de roches vertes vraisemblablement des chloritoschistes). Deux couples de parcelles furent installées vers le quart inférieur de ce versant, sur une pente de 0,5 à 1 %. Ces deux dispositifs, proches l'un de l'autre, subirent des protocoles expérimentaux différents mais peuvent être caractérisés par un seul type de pédon :

- Surface du sol : jachère de sorgho de 2 ans envahie par des buissons d'épineux à raison d'un buisson pour 2 m² ; strate de Graminées sèches, couchées et couvrant 40 % de la surface des parcelles ; larges fissurations débouchant en surface, de 5 à 10 cm de largeur, 120 à 150 cm de profondeur et traçant un réseau sinueux de 3 à 5 m d'équidistance ; rares effondrements (3 à 4 par parcelles) formant des cuvettes de 10 à 15 cm de profondeur et 20 à 30 cm de diamètre ; pellicule de dessiccation de 5 à 10 mm et dépôts éoliens consolidés par des lichens ou algues, interrompus par les fentes et effondrements.

Le développement de la structure permet de distinguer deux ensembles d'horizons qui sont :

- 0/13 à 15 cm : Structuration très nette (sauf sur les 2 premiers centimètres) avec des vides inter-agrégats importants; on distingue plus précisément :
 - 0/0,5 à 2 cm : structure fondue ou remaniée en une pellicule de battance passant à une structure lamellaire vers -1 cm, avec interstratifications de dépôts à texture hétérogène,
 - 0,5 à 2 cm/13 à 15 cm : brun-foncé, argilo-limono-sableux, quelques graviers et cailloux de chloritoschistes altérés, ferruginisés, structure très nette polyédrique très grossière à sous structure moyenne surtout développée en limite des fentes de retrait, très poreux, tubulaire fin à moyen,
- 13 à 15/160 cm : Structuration moins nette et volume des vides plus faible entre les agrégats,
 - 13 à 15/110 cm : brun foncé, argilo-limono-sableux, 10 % d'éléments grossiers qui sont : concrétions sesquioxidiques noirâtres de 3 mm, graviers de chloritoschiste et quelques nodules calci-magnésiques, structure peu nette à tendance prismatique très grossière devenant nette cubique grossière près des fentes, très peu poreux fin tubulaire,
 - 110/160 cm : brun olive clair et brun foncé sur les faces des agrégats, argilo-limono-sableux, 25 % d'éléments grossiers de même nature que ceux de l'horizon sus-jacent, légère augmentation du taux d'éléments calci-magnésiques, structure massive fissurée passant à lamellaire oblique discrètement lissée ou encore gauchie striée vers 150 cm, non poreux.

La présence de ces sols à caractères vertiques plus ou moins affirmés s'explique par des apports importants en éléments alcalino-terreux et en fer provenant de la roche-mère et permettant la synthèse d'argiles gonflantes auxquelles se lient fortement de faibles quantités de composés humiques très polymérisés.

1.2.2. Le site du lac de LOUMBILA :

Les travaux de cartographie antérieurs (B. KALOGA - 1968 -) font mention dans cette région d'unités correspondant à l'association d'un assez grand nombre de types de sols. On découvre ainsi, au nord de OUAGADOUGOU (cf. fig. n° 5) deux vastes unités correspondant à :

- une première association de "sols peu évolués d'érosion, hydromorphes, sur matériaux gravillonnaires" et de "lithosols sur cuirasse ferrugineuse",
- une deuxième association de sols comprenant : a) des "sols hydromorphes minéraux à pseudo-gley hérité, à taches et concrétions sur matériau argilo-sableux", b) des "lithosols sur cuirasse ferrugineuse", c) des "sols ferrugineux tropicaux, remaniés, sur matériau argilo-sableux en profondeur".

La première unité caractérise les zones surélevées ou, tout au moins, plus largement ondulées du plateau MOSSI, tandis que la deuxième unité s'inscrit surtout soit à proximité des axes de drainage, soit sur les formes les plus rigoureusement planes, donc à moins bon drainage externe.

La distinction de "sols à pseudo-gley hérité", qu'introduit B. KALOGA, d'un ensemble de sols "ferrugineux tropicaux remaniés", repose sur des

considérations de pédo-morphogénèse ancienne : les horizons hydromorphes plus ou moins carapacés des pseudo-gley hérités actuellement très proches de la surface, correspondraient aux horizons tachetés profonds d'anciens sols ferrugineux érodés et remaniés.

Bien qu'ayant peu parcouru cette région nous avons pu constater la grande hétérogénéité des sols. Le seul site expérimental retenu nous a semblé cependant assez représentatif d'un des segments pédologiques que l'on identifie fréquemment en pays MOSSI.

Site expérimental de LOUMBILA :

Autour du lac de LOUMBILA, on découvre un paysage de collines plan-convexes à sommets étroits et longs versants rectilignes de 1 500 à 2 000 m aboutissant à des thalwegs très peu encaissés. A proximité de l'endroit où fut installé le dispositif expérimental (LBA 41), on met en évidence 4 segments pédologiques qui sont (cf. fig. n° 6) :

- 1 : le sommet, d'interfluve, plan convexe, étroit (quelques dizaines de mètres), à affleurements généralisés de gravolite ou, plus rarement de fragments volumineux de pétrostérite,
- 2 : la zone de raccordement que l'on pouvait identifier plus au nord, ne peut plus être distinguée ici : on caractérise plutôt un "haut de versant" d'abord très légèrement concave sur 5 à 10 m puis rectiligne avec des pentes oscillant entre 2 et 1,5 % ; les gravolites moins denses et moins épais que ceux du segment précédent, continuent d'y affleurer, ce segment peut s'étendre jusque la mi-pente soit sur environ 700 à 1 000 m,
- 3 : le "bas de versant" qui est rectiligne, très peu pentu (0,5 à 1 %) et limité à l'aval par une discrète rupture de pente de quelques décimètres ; dans ce segment, les gravolites s'enfouissent sous des colluvions sablo-argileux épais,
- 4 : la petite rupture de pente signalée précédemment constitue la limite amont d'un quatrième segment qui correspond à la plaine alluviale ; celle-ci contient des sols hydromorphes minéraux argilo-sableux, bien structurés, à gley ou pseudo-gley, ce segment est actuellement ennoyé par le lac de LOUMBILA.

Un seul couple de parcelles fut installé sur le segment n° 2. Son contenu-sol se présente comme une juxtaposition aléatoire de lepto- et de brachy-apexols moyennement gravillonnaires, sableux à sablo-argileux sur gravolite, sur gravo-fragistérite, sur duri-rétichron gravillonnaire ou fragistérite gravillonnaire. Les indurations ferrugineuses sont en effet très fréquentes sinon constantes sur cette portion de versant. Les parcelles LBA 41 furent installées sur le pédon suivant :

- surface du sol : affleurement de 30 à 40 % de gravillons ferrugineux, 5 % de la surface du sol couverts par des chaumes de petit mil, micro-ondulations de 5 cm d'amplitude correspondant à des buttes ou à des billons effondrés, pellicule de battance généralisée en sommet d'ondulation, colluvions et dépôts éoliens dans les creux (tornade sèche quelques jours auparavant),

- 0/13 cm : Appumite gravillonnaire, appauvri, sableux, brun, 35 % de nodules ferrugineux arrondis de 5 mm de \emptyset , psammoclude, très poreux, racines fines jusqu'à 10 cm. Transition distincte, régulière,
- 13/17 à 40 cm : Gravalite humifère, sablo-argileux, brun-rougeâtre clair (5YR6/5 sec), 60 % de nodules ferrugineux arrondis de 5 à 10 mm de \emptyset , phase structichrome nuciclude très fine, forte porosité d'assemblage ainsi que tubulaire moyenne à large. Transition nette ; ondulée à irrégulière,
- 17 à 40/150 cm : Fragistérite gravillonnaire, à phase gravolique humifère, à stigme graveleux (quartz), rouge et jaune-pâle, induration hétérogène ménageant des zones gravillonnaires meubles à porosité tubulaire large jusqu'à 150 cm. Transition graduelle régulière,
- 150/170 cm : Fragistérite, gris clair, brun très pâle et blanc, à faible porosité plus généralement vésiculaire.

Il s'agit donc localement d'un lepto-apexol gravillonnaire sur fragistérite dans lequel on note une bonne porosité, même dans le fragistérite gravillonnaire (jusqu'à 150 cm). Cette porosité ne débouche cependant pas en surface du fait d'un colmatage généralisé, sur quelque 5 mm, de la partie supérieure de l'appumite. On remarque en profondeur la présence d'horizons hydromorphes indurés pouvant effectivement correspondre aux "pseudo-gley hérités" de B. KALOGA.

1.3. Propriétés déduites des résultats analytiques :

La confrontation des descriptions morphologiques et des données analytiques permet, en principe, en l'absence d'expérimentations de terrain, de prévoir certaines propriétés des sols des parcelles étudiées. Nous inter-préterons dans ce paragraphe quelques données analytiques obtenues à partir de méthodes de déterminations standardisées. Certaines d'entre elles fournissent des indications correctes sur le niveau de fertilité chimique de ces différents types de sols ; par contre, bien des caractéristiques physiques ne doivent être considérées que comme le résultat de tests de laboratoire et, comme nous avons pu le constater, les indications qu'ils fournissent sont souvent infirmés par les expérimentations de terrain.

L'interprétation des résultats analytiques doit donc être prudente en ce sens que l'on doit parfois s'interdire d'isoler une donnée pour caractériser un ensemble de processus : c'est ainsi, par exemple, que les paramètres concernant la dynamique de l'eau, déduits de mesures de porosité et de perméabilité des horizons de profondeur, doivent être revus en fonction du comportement hydrodynamique des quelques centimètres de sol proches de la surface.

Cette comparaison des données obtenues en laboratoire avec celles fournies par les études de terrain est cependant instructive car elle permet d'orienter et d'adapter la méthodologie des déterminations.

1.3.1. La texture (cf. fig. n° 7 à 13) :

- Sites de POUNI :

Les sols sont argileux (texture considéré dans la phase structichrome) sur la plus grande partie du versant. Dès le sixième segment (PNI 13), la phase structichrome devient argilo-limono-sableuse à argilo-sableuse. La répartition granulométrique en fonction de la profondeur, qui figure sur les diagrammes PNI 11, 12 et 13 met en évidence les caractères suivants :

- dans tous les cas, on note une diminution importante du taux d'argile sur les 15 à 20 premiers centimètres ; ceci s'interprète comme un appauvrissement par élimination latérale d'une partie des colloïdes argileux dans les cas de PNI 11 et 12 et plutôt comme un lessivage dans le cas de PNI 13 car il apparaît vers 40 cm un "ventre" d'accumulation assez net (coefficient d'entraînement = $1/2,5$). De ce fait (appauvrissement ou lessivage), les rapports SF/SG atteignent ou dépassent 0,5 dans les appumites, ce qui favorise leur prise en masse et leur colmatage,
- on repère aussi, en bas de versant (PNI 13) une augmentation importante des limons fins, limons grossiers et sables fins sur la totalité du profil ; 70 % des éléments possèdent dès lors un diamètre inférieur à 50 microns ce qui contribue à diminuer le drainage interne pour peu que la structure soit mal développée, ce que l'on observe effectivement dans le structichron de PNI 13.

- Sites de SAINT-PAUL :

Les sols sont sableux à sablo-faiblement argileux sur la totalité des profils. Les diagrammes SPO 21 et 22 permettent de déceler les caractères suivants :

- appauvrissement en argile sur les 15 ou 20 premiers centimètres qui élimine la moitié des colloïdes argileux,
- lessivage extrêmement net dans le cas de SPO 22 ou apparaît à partir de 35, 40 cm un horizon argillique déjà signalé au simple examen morphologique,
- fortes proportions d'éléments de 20 à 200 microns (limons fins et sables fins) dans tout le profil et, bien souvent, accumulation préférentielle de sables fins en surface ; par exemple pour SPO 22, le rapport SF/SG est voisin de 1,7 en surface alors que celui-ci n'excède pas 0,8 en profondeur. Cette modification peut s'interpréter de différentes façons : fragmentation des quartz plus ou moins corrodés et fissurés, tri des bas de versants dû au colluvionnement. Quoi qu'il en soit cette texture est particulièrement déséquilibrée et favorise la prise en masse et l'imperméabilisation des horizons supérieurs.

- Site de BATANGA :

Le sol est argilo-sableux à argilo-limono-sableux, les teneurs en limons fins sont importantes ($LF/A = 0,3$), les sables fins prédominant ($SF/SG = 2$ à 3), on décèle un léger appauvrissement en argile sur les 5 à 10

premiers centimètres alors qu'en profondeur la texture reste extrêmement constante. Celle-ci correspond aux valeurs médianes que R. BOULET indique pour les sols "brun eutrophes vertiques" du centre nord de la HAUTE-VOLTA. Dans ce type de sol les caractères granulométriques restent cependant moins importants que la composition minéralogique de leurs argiles qui détermine leur structuration particulière.

- Site de LOUMBILA :

Les sols de ce segment sont nettement appauvris, ils sont sableux sur les 20 premiers centimètres. La phase structichrome des gravolites devient progressivement sablo-argileuse jusqu'en limite du fragistérite gravillonnaire. Les sables grossiers prédominent mais le rapport SF/SG reste voisin de 0,5.

1.3.2. Le complexe absorbant (cf. fig. n° 14 à 16) :

La comparaison des réactions, teneurs en bases échangeables et capacités d'échange sur les 20 premiers centimètres font apparaître trois familles de sols :

- les appumites ou gravolites humifères de PNI 11, 12, 13 ont des réactions avoisinant la neutralité, contiennent 7 à 10 me/100 g de bases échangeables qui saturent complètement le complexe absorbant,
- les appumites de SPO21 et 22 sont légèrement acides (pH 6,1 à 6,6) ne contiennent plus que 1 à 2 me/100 g de bases pour des capacités d'échange également faibles oscillant entre 2,5 et 3,5 me/100 g,
- enfin, on trouve sur BATANGA des sols contenant 14 à 18 me/100 g de bases échangeables qui saturent entièrement le complexe absorbant, leur réaction est voisine de la neutralité, la disposition des 2 droites S et T à partir de 50 cm s'explique par la présence de calcaire actif.

Les taux de Ca^{++} et Mg^{++} augmentent régulièrement avec la profondeur sauf dans les sols les moins évolués des piédmons (PNI 11 et SPO 21). Dans presque tous les cas on remarque un net déséquilibre dans la garniture cationique du complexe absorbant, notamment pour ce qui concerne les proportions respectives de Ca^{++} et Mg^{++} .

En effet le rapport Ca/Mg reste voisin de 1 ou même parfois légèrement inférieur à l'unité dans toute la zone exploitée par le système racinaire (PNI 12, SPO 21, SPO 22, BTG 3), les taux de Ca^{++} ne redeviennent prédominants qu'au delà du premier mètre. Si nous faisons cette observation c'est parcequ'il a été souvent prouvé que des doses excessives de magnésium pouvaient avoir une influence néfaste sur le développement de la structure des sols à illite ou à illite et montmorillonite, il semblerait que le profil BTG 3 corresponde à cette situation. Pour les autres profils on peut supposer que le fer compense tant soit peu les charges excessives en magnésium.

Les taux de K^+ sont souvent médiocres, plus rarement moyens vers la surface (20 % du complexe pour SPO 22) ; ils chutent rapidement à des

valeurs très faibles sous 15 - 20 cm. Le rapport Ca+Mg/K n'est correct sur les 10 - 15 premiers centimètres que pour les profils PNI 12, 13, et BTG 3. On note par contre un déséquilibre dans le sens d'un excès potassique pour les profils SPO 21, 22 et PNI 11. Ce rapport ne redevient bon (fourchette 12 - 30) pour l'ensemble des profils qu'entre 10 et 50 cm, sauf pour le profil BTG 3 où cette fois des teneurs trop élevées en Ca⁺ et Mg⁺ entraînent des carences potassiques. A signaler enfin que la présence des horizons argilliques de PNI 13 et SPO 22 correspond à une assez sensible augmentation des teneurs en K⁺ à leur niveau.

1.3.3. La matière organique et l'équilibre Azote-Phosphore (cf. fig. 17 à 20) :

Sur les 10 - 15 premiers centimètres les taux de matière organique oscillent entre 0,5 et 1,50 %, ceux-ci peuvent encore être considérés comme moyens lorsque les teneurs en argile y excèdent 25 %, c'est le cas de PNI 12, 11 et BTG 3. Lorsque la texture reste sableuse ces taux deviennent très insuffisants (SPO 22 et LBA 41).

Son incorporation tend à être insohumique sur toute l'épaisseur des horizons perturbés (25 à 30 cm) puis les teneurs décroissent jusqu'à des valeurs avoisinant 0,4 % vers 50 - 70 cm. Son évolution est correcte, le rapport C/N reste voisin de 11 dans les horizons de surface des sols cultivés, il dépasse légèrement 12 pour les mêmes horizons non perturbés en piedmonts (PNI 11, SPO 21). La mise en culture uniformise évidemment ses conditions d'évolution (minéralisation et polymérisation), c'est ce que l'on observe par exemple pour SPO 22 et PNI 13 où le rapport AF/AH reste voisin de 1,3 sur les 20 - 30 premiers centimètres perturbés tandis que le coefficient d'extraction reste voisin de 30. On remarque enfin pour BTG 3 une polymérisation nettement plus importante des composés humiques synthétisés dans les horizons superficiels.

Les teneurs en azote sont, dans la majorité des cas, suffisantes compte tenu de la réaction avoisinant la neutralité. Le profil SPO 22 fait cependant exception étant donnée la réaction acide des horizons de surface (N = 0,38 pour un pH de 6,1).

L'équilibre N total/P205 total est moyennement assuré dans la plupart des cas appumites ou gravolites humifères, on note une carence en phosphore à partir de 15 cm sur SPO 22.

1.3.4. Quelques caractéristiques physiques déduites de tests de laboratoire :

- Capacité de rétention et gamme d'eau utilisable :

La capacité de rétention correspond à la limite inférieure des volumes d'eau contenus dans les macroporosités du sol, à écoulement rapide du fait de l'action prépondérante des forces de gravité. Cette limite correspond à des forces de succion très variables en fonction de la texture, de la teneur en composés organiques et de la structuration des sols ; aussi

est-il rarement possible d'identifier cette valeur limite à une quelconque teneur en eau d'un potentiel capillaire compris entre 2 et 3. Toujours en ce qui concerne la dynamique de cette eau à écoulement rapide, il faut aussi rappeler qu'il est évidemment nécessaire que la totalité de cette macroporosité puisse déboucher librement à la surface du sol, ce qui, comme nous l'avons déjà laissé entendre est rarement réalisé.

Les valeurs calculées et exprimées en mm de cette capacité de rétention et de l'eau utilisable pour différentes profondeurs ne sont donc données ici qu'à titre indicatif pour pouvoir être comparées avec ces mêmes données déterminées sur le terrain (cf. chapitre 3.2.1.).

Profondeur (cm)	Sols											
	PNI 11		PNI 12		PNI 13		SPO 21		SPO 22		BTG 3	
	CR	EU	CR	EU	CR	EU	CR	EU	CR	EU	CR	EU
0												
50	-	-	140	40	180	70	56	30	65	35	-	-
100	340	110	370	85	330	110	-	-	210	110	400	130

Dans ce tableau, les capacités de rétention (CR) ont été calculées à partir des humidités volumiques à pF 2,5 pour les échantillons sableux et à pF 3 pour les échantillons argilo-sableux. La game d'eau utilisable (EU) est déduite par différence avec les humidités volumiques correspondantes à pF 4,2. Dans le détail, on remarque que l'accroissement de cette capacité de rétention en fonction de la profondeur est fortement influencée par la différenciation des horizons pédologiques. A titre d'exemple, son augmentation est très rapide dans les structichrons argilliques :

- de SPO 22 où l'on passe de 50 à 200 mm entre -50 et -100 cm,
- de PNI 13 où l'on passe de 80 à 200 mm entre -30 et -60 cm.

- Stabilité des agrégats :

La combinaison des tests de perméabilité (K HENIN) et d'instabilité structurale (Is HENIN) fait ressortir une stabilité de la structure généralement médiocre à mauvaise pour l'ensemble des échantillon. Les résultats présentés sur le diagramme $\log 10 K = f(\log 10 Is)$ font cependant apparaître un certain classement (cf. fig. n° 21) :

- pour les horizons de surface (entre 0 et 5 ou 10 cm), BTG 3 est encore moyennement stable ; viennent ensuite PNI 13, SPO 21, et LBA 41 dont les indices Is changent peu par rapport à BTG 3 mais pour lesquels la perméabilité chute assez nettement ; on retrouve enfin dans les plus mauvaises stabilités SPO 22, PNI 12 et PNI 11,

- en profondeur (entre -15 et -25 cm), PNI 13 rejoint BTG 3 dans la classe des stabilités moyennes ; PNI 11, PNI 12, SPO 21, SPO 22, LBA 41 voient leur stabilité augmenter légèrement par rapport à celle de la surface, cependant on reste dans les classes des stabilités médiocres à très mauvaises.

Cette première interprétation peut être complétée en comparant les pourcentages d'agrégats stables obtenus après prétraitement à l'alcool et au benzène par rapport à ceux d'échantillons non prétraités (air).

Rappelons que le prétraitement à l'alcool (liquide polaire, miscible à l'eau) permet de ne retenir que l'influence de la cohésion, c'est-à-dire le rôle joué par les ciments colloïdaux. Au second prétraitement avec un liquide non polaire, non mouillable et incompressible on remplit les porosités de benzène et l'on ne met alors en évidence que les phénomènes d'éclatement dus aux pressions internes qu'exerce l'eau progressant dans les agrégats. Ajoutons enfin que, pour des teneurs élevées en matière organique, la mouillabilité des agrégats diminue fortement ce qui atténue d'autant les tensions internes que peut exercer l'eau dans les porosités.

L'interprétation des diagrammes de la figure 22 montre plusieurs choses :

- jusqu'à -15 cm, le pourcentage d'agrégats stables reste faible (10 à 40 %) quel que soit le prétraitement :
 - . l'influence de la cohésion due aux ciments n'apparaît nettement que pour PNI 12, PNI 11 et BTG 3 si l'on compare les échantillons sans prétraitement (air emprisonné dans les porosités) avec ceux ayant subi le prétraitement protecteur à l'alcool,
 - . ce prétraitement n'amène aucune modification pour les échantillons très sableux (SPO 21, SPO22, LBA 41),
 - . l'influence stabilisante de la matière organique se manifeste dans tous les cas puisque l'on ne constate qu'une diminution insignifiante du taux des agrégats stables au benzène,
- au-delà des 15 - 20 cm, où nous disposons de moins de résultats, on décèle pour PNI 12 et, de façon moins nette, pour PNI 13 les influences d'une augmentation des taux d'argile et de la diminution de la teneur en matière organique ; dans le cas de SPO 22, la discrète augmentation du taux d'argile et la constance des teneurs en matière organique au-dessus du structurel argillique se traduisent par des taux d'agrégats stables à peu près identiques pour les trois traitements.

Nous constaterons par la suite qu'il existe des relations assez étroites entre le classement des taux d'agrégats stables présenté ici et les différents ordres de grandeur des débits solides ; par exemple nous verrons que les parcelles BTG 3 et PNI 13 fournissent, en quelque situations que ce soit, le plus de sédiments. Le traitement d'échantillons prélevés en surface (0/10 et 10/15 cm) en fin des essais ne montre, par rapport au traitement d'échantillons de sol initialement sec, qu'une chute insignifiante du taux d'agrégats stables, cette observation peut, elle aussi, être corrélée avec la constance observée des turbidités des eaux de parcelles s'érodant en nappe.

1.4. Conclusion partielle : validité des données morphologiques et analytiques dans les prédictions de l'hydrodynamique et de l'érodibilité des sols :

En caractérisant les sols des sept sites expérimentaux, nous avons pu constater qu'il existait d'importantes variations s'exprimant sous la forme d'une information strictement descriptive : épaisseur, couleur, texture, structure, charge en éléments grossiers, cohésion, porosité de toute une série d'horizons pédologiques. Cette variabilité s'atténue déjà au niveau des résultats analytiques où l'on retrouve beaucoup de données communes concernant par exemple la fertilité chimique qui est uniformément correcte ou encore la stabilité structurale qui est généralement médiocre. La confrontation de ces deux séries d'informations morphologiques et analytiques devrait permettre d'aboutir à une prévision limitée de leurs comportements en ce qui concerne l'érosion et le ruissellement.

Nous ne pouvons, à l'issue de cette caractérisation morphologique et analytique, qu'avancer des hypothèses basées soit sur l'expérience que l'on a des comportements de sols morphologiquement identiques, soit sur des interprétations souvent hasardeuses de résultats de laboratoire. Comme cela sera précisé par la suite, nous avons prévu deux traitements : pluies simulées sur un sol dans son état naturel et sur un sol labouré selon des normes strictes. Pour conclure ce chapitre nous essaierons de dégager, au seul vu des informations développées précédemment, quelques prédictions de comportement pour ces deux situations.

Dans leur état naturel, la surface de certains sols apparaît comme compactée, toute la porosité est colmatée soit par une pellicule de battance, soit par des dépôts d'éléments fins colluvionnés ou éoliens; il s'agit de PNI 13, SPO 21, SPO 22, et LBA 41. Il est aussi difficile d'anticiper sur le comportement des sols à affleurement de gravolite dense, perturbé par la culture tel que PNI 12, ou non cultivé tel que PNI 11. E. ROOSE (1974 et 1976) a souvent constaté, notamment en HAUTE-VOLTA que ces affleurements d'éléments grossiers pouvaient "se comporter comme un mulch de gravillons protégeant très efficacement le sol" contre l'érosion et que, bien souvent, leur drainage était nettement plus élevé que celui des sols voisins qui en étaient dépourvus (SARIA) ; ceci a d'ailleurs la conséquence malheureuse d'augmenter les pertes en éléments minéraux (nombreux essais en case lysimétriques). Il est également évident que, dans le cas d'une totale saturation des horizons surmontant le fragistérite de LBA 41, l'on risque de voir augmenter immédiatement le ruissellement. Par contre, à ce niveau de nos connaissances, il est difficile de prévoir le comportement des parcelles BTG abondamment fissurées jusqu'à une profondeur de 120-150 cm ; tout dépendra de la vitesse avec laquelle ces fissures pourront se colmater ou se refermer. D'autre part, cette fissuration introduit une telle hétérogénéité que l'on peut se demander qu'elle pourra être la valeur des données collectées sur des parcelles de 50 m².

En ce qui concerne les essais menés sur parcelles labourées, on peut supposer que la désagrégation des mottes devrait être rapide sur les sols à trop faible stabilité structurale. Cette dégradation doit être atteinte peu de temps après les premières averses sur des sols très pauvres en colloïdes organiques ou minéraux et à complexes absorbant partiellement désaturé en bases tels que SPO 21, SPO 22 et LBA 41. Toujours au sujet de la stabilité structurale, on peut se demander qu'elle peut être l'influence de trop fortes charges magnésiennes dans le complexe absorbant : en effet

les humates magnésiens restent solubles même dans des complexes de réaction neutre. De nombreux sols sont dans cette situation mais les risques d'une "fonte" rapide des mottes semblent plus importante sur le site de BATANGA.

En résumé, il est à peu près certain que tout sera conditionné par la réaction des premiers centimètres de la surface du sol ; il n'est pas utile de détecter une capacité au champ dépassant les 400 mm par mètre si les macroporosités stockant cette eau ne débouchent pas à la surface. La combinaison d'une imperméabilité de la surface et de faibles possibilités de réserves en eau constitue évidemment le cas le plus défavorable. Ceci semble être réalisé pour les trois sols de piedmont PNI 11 (non cultivé), SPO 21 (non cultivé) et LBA 41 (cultivé) dont le développement est limité à faible profondeur par des altérites peu poreuses, du régolite ou du fragistérite non ou peu perméables. Ces sites susceptibles de ruisseler rapidement, rarement cultivés, constituent des impluviums intéressants à condition que les eaux qu'ils collectent puissent s'infiltrer vers l'aval.

Ces comportements, infirmés ou confirmés à l'occasion des interprétations des essais développés dans les chapitres suivants devraient guider les aménagistes dans leur choix des meilleures formules de mise en valeur.

CHAPITRE II

DISPOSITIF DE MESURE ET METHODOLOGIE

2.1. Le dispositif expérimental :

On trouvera en figure 23 un schéma d'ensemble de ce dispositif qui comprend d'une part les parcelles et les appareillages de mesure et, d'autre part, le simulateur de pluie et ses installations annexes.

2.1.1. Le simulateur de pluie :

C'est un appareil dérivé du "rotating boom rainfall simulator" de SWANSON (1965). Il comporte un châssis de remorque sur lequel un moteur électrique entraîne la rotation d'une colonne verticale creuse supportant à sa partie supérieure dix bras horizontaux de huit mètres de longueur et disposés en étoile. Ces bras sont percés au total de trente ouvertures dans lesquelles s'ajustent des gicleurs spéciaux orientables dont l'ouverture est commandée par des vannes. Lorsque le moteur est en marche, la colonne et les bras tournent à la vitesse constante de quatre tours par minutes.

Pour effectuer un arrosage, on met en route une motopompe qui puise dans une réserve de 30 m³ et envoie de l'eau sous pression dans la colonne verticale. En jouant sur l'ouverture des vannes il est possible de régler et de maintenir le débit d'admission de manière à obtenir des intensités d'arrosage constantes voisines de 30, 60, 90 et 120 mm/H. On a pu vérifier en disposant des batteries de pluviomètres au sol que la pluie simulée ainsi réalisée est spatialement homogène. Une étude récente (C. VALENTIN 1978) un autre par ailleurs que le diamètre moyen des gouttes est très proche de celui que l'on observe sous pluie naturelle pour des intensités comprises entre 60 et 90 mm/H. En revanche la même étude met en évidence aux faibles intensités des écarts importants entre les énergies cinétiques des averses simulées et celles des averses naturelles. En désignant ces énergies par ECS (simulé) et ECN (naturel), on aurait en effet d'après l'auteur : ECS/ECN = 1,48 pour 30 et 60 mm/H
et ECS/ECN = 1,11 pour 90 et 120 mm/H.

L'approvisionnement en eau est assuré par un camion citerne de 8 m³ qui effectue des navettes entre la réserve déjà mentionnée et le point d'eau (lac ou marigot) le plus proche, ce qui nécessite l'utilisation d'une deuxième motopompe et d'une certaine longueur de conduites démontables.

Quant à l'alimentation en électricité (moteur du simulateur électropompes, recharge de batteries, etc...) elle est assurée par un groupe électrogène de 5 KVA.

2.1.2. Les parcelles :

Le simulateur arrose une couronne circulaire d'environ 200 m² à l'intérieur de laquelle on isole deux parcelles rectangulaires de 50 m² (10 mètres sur 5). L'ensemble de ces parcelles constitue un bloc rectangulaire de 10 mètres sur 13 (voir fig. 23) qu'il s'agit tout d'abord de positionner convenablement sur le terrain.

Pour cela on utilise le plan coté d'une zone carrée de 400 m² environ choisie en raison de sa représentativité, dépourvue d'obstacles trop importants et paraissant plane à l'oeil nu. En pratique on matérialise d'abord ce carré par deux lignes perpendiculaires de piquets qui servent de base à un levé topographique précis selon un quadrillage à maille de 2 m x 2 m. Après avoir tracé les courbes de niveau sur le plan (voir figure 24), on positionne les parcelles dans le domaine où le parallélisme et l'équidistance de ces courbes paraissent être le mieux respectés.

Les parcelles sont ensuite balisées au cordeau sur le terrain puis délimitées supérieurement et latéralement par des bordures en tôle de 20 cm de hauteur enfoncées soigneusement de 10 cm dans le sol. A l'aval, sur toute la largeur des parcelles, on pratique une tranchée à bords francs où vient se loger un canal en tôle préfabriqué destiné à collecter les eaux du ruissellement vers les dispositifs de mesure des débits solides et liquides.

Afin d'éliminer les risques de pertes ou d'apports parasites de ruissellement, on condamne toute communication de surface entre les parcelles et l'anneau de garde extérieur en assurant l'étanchéité des bordures et canaux par les joints de goudron à la jonction des différents éléments métalliques. Enfin, pour éviter que les gouttes de pluie n'atteignent directement les canaux, on recouvre ceux-ci par d'étroites toitures en tôle, inclinées vers l'aval et débordant légèrement au-dessus du sol des parcelles.

2.1.3. Les dispositifs de mesures :

La hauteur totale des averses est contrôlée par deux pluviomètres linéaires de 2 000 cm² de surface réceptrice (5 cm x 400 cm) qui permettent de connaître les intensités réelles des averses délivrées. D'autre part, un anémomètre totalisateur est relevé à intervalles de temps réguliers en cours d'essais dans le but de déceler une éventuelle influence du vent sur la dispersion des mesures pluviométriques.

Quant au ruissellement, il est connu sur chaque parcelle par les volumes écoulés cumulés enregistrés dans une cuve calibrée au moyen d'un limnigraphe. La capacité de la cuve (200 l environ) correspondant à 4 mm de lame d'eau ruisselée est généralement inférieure au volume ruisselé d'une averse, c'est pourquoi la cuve est automatiquement vidée lorsqu'elle est prête à déborder. On utilise pour cela une électropompe dont le déclenchement est commandé par un flotteur-interrupteur. Le limnigraphe enregistre donc une courbe en dents de scie correspondant aux remplissages et vidanges successifs. Compte-tenu des dimensions de cuve et de la vitesse d'avancement du limnigraphe, les lames d'eau enregistrées sont connues à 0,05 mm près et les temps à 15 secondes près, ce qui entraîne une précision satisfaisante sur les intensités de ruissellement surtout aux faibles débits.

La prise d'échantillons pour mesure de turbidité et de transports en solution est réalisée dans des récipients calibrés par prélèvement direct au niveau du déversoir de canal. Etant donné qu'on se place en amont

de la cuve réceptrice, la méthode permet l'enregistrement du prélèvement sur le diagramme limnigraphique et fournit ainsi un contrôle de temps.

Signalons enfin que, mise en oeuvre concurremment avec les mesures directes par prélèvements à la tarière et pesées la méthode des chocs thermiques (B. POUYAUD-1975) a permis de suivre en continu l'évolution des profils verticaux de température et d'humidité des sols en cours d'averse. Toutefois, les dépouillements n'étant pas achevés, les résultats correspondants donneront lieu ultérieurement à un rapport séparé.

2.2. Les protocoles expérimentaux :

2.2.1. Traitements subis par les parcelles :

Une des deux parcelles de chaque couple est sélectionnée selon un critère de représentativité optimale, on lui affecte le n° 1. Le sol doit y demeurer tel qu'il se présentait en l'état naturel et l'on prend donc soin de ne pas la piétiner à la mise en place du dispositif. L'autre parcelle porte le n° 2 et reçoit toujours le même type de préparation : le sol est retourné à la bêche puis débarrassé de toute trace de végétation selon les normes de WISCHMEIER développées dans une note de E. ROOSE (1968). Il s'agit donc, pour toutes les catégories de sol d'un traitement de référence.

C'est sur ce couple ainsi préparé que portent les essais principaux (trains de pluies dont les intensités, les durées et les espaces entre averses successives sont définis par l'un des protocoles décrits ci-après). Toutefois, à l'issue de cette première série d'essais, la surface des parcelles est généralement réaménagée afin que puisse être testée l'efficacité de différents traitements culturels susceptibles de favoriser l'infiltration ou de diminuer l'érodibilité. A cet effet, la parcelle n° 1 est habituellement labourée puis aménagée en buttes cloisonnées tandis que la parcelle n° 2 est relabourée et recouverte d'un mulch de chaumes.

2.2.2. Caractéristiques des séquences pluvieuses :

Pour une parcelle donnée les principaux facteurs susceptibles d'intervenir sur les caractéristiques du ruissellement et de l'érosion sont l'état d'humectation initial du sol, la hauteur d'averse et l'intensité. En conséquence, un programme d'essais entièrement satisfaisant devrait comprendre un nombre d'averses suffisant pour permettre l'étude du rôle de chacun de ces facteurs indépendamment des deux autres. Il conviendrait donc de définir quelques états initiaux d'humectation dont un très sec et l'autre voisin de la saturation, puis d'appliquer pour chacun d'eux la gamme des quatre intensités dont on dispose en faisant également varier les hauteurs d'averses. En pratique, il est clair que la mise en oeuvre d'un tel protocole aurait conduit à un nombre d'averses prohibitif et à des durées d'immobilisation du matériel sur un même site incompatibles avec le caractère d'étude extensive que présentait la mission. C'est pourquoi, à l'issue d'un échange de correspondance entre le Bureau Central Hydrologique de l'ORSTOM et l'équipe d'ADIPODOUME, il a été décidé de s'en tenir à un compromis consistant à faire porter les investigations sur le plus grand nombre possible de types de sol, en limitant à une semaine la durée totale des tests

sur chacun d'entre eux. Ce laps de temps ne permettant d'étudier à la fois la susceptibilité au ruissellement et à l'érosion de façon satisfaisante que pour une seule intensité d'averse, on a retenu l'intensité standard de 60 mm/H fréquemment utilisée aux U.S.A. pour ce genre de recherche en convenant cependant que les autres intensités seraient testées pour un seul état d'humectation initial (proche de la saturation).

On a donc établi un premier protocole long qui met l'accent sur l'étude de l'influence des intervalles de temps entre averses successives (ta) et celle de la hauteur de trains d'averse répétitives et rapprochées.

TABLEAU I - CARACTERISTIQUES DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL LONG (7 JOURS)

Date	Référence de l'averse	ta	Intensité (mm/H)	Durée (minutes)	Observations
Jour 1	ERO 1	5 mois	60	60	matin
Jour 2	ERO 2	22 à 23 H	60	30	matin
	ERO 3	0 H 20	60	30	matin
"	ERO 4	8 à 10 H	60	30	soir
	ERO 5	0 h 15	60	30	soir
Jour 3	HYD1 a	12 à 14 H	60	10	matin. Averses en nombre tel qu'on finisse par obtenir un ruissellement constant
	HYD1 b	0 H 20	60	10	
	"	"	"	
Jour 3	HYD2 a	3 H	60	10	idem l'après-midi mais ta = 40' au lieu de 20'
	HYD2 b	0 H 40	60	10	
	"	"	"	
Jour 6	HYD3 a	40 H	60	20	matin. jusqu'à obtention du palier de ruissellement
	HYD3 b	0 H 30	"	"	
	HYD3 c	0 H 30	"	"	
Jour 6	ERO6 a	3 H 00	30	40	après-midi. Etude de l'influence de l'intensité de la pluie
	ERO6 b	0 H 40	60	20	
	ERO6 c	0 H 40	90	13	
	ERO6 d	0 H 40	120	10	
Jour 7	ERO7	24 H 00	Variable	de 90 à 120, Traitement particulier du sol	

Cependant, à l'issue des premières séries de mesures, il s'est avéré que pour des sols très imperméables, le nombre et la durée totale des essais pouvaient être réduits sans que cela entraîne une diminution notable de la quantité de renseignements obtenus. Cela a conduit à l'élaboration du protocole court suivant, utilisé principalement sur les glacis de piedmont et ne portant plus que sur trois journées consécutives d'observation.

TABLEAU II - CARACTERISTIQUES DU PROTOCOLE EXPERIMENTAL COURT (3 JOURS)

Date	Référence de l'averse	ta	Intensité (mm/H)	Durée (minutes)	Observations
Jour 1	ERO 1	5 mois	60	60	matin
Jour 2	HYD1 a	23 H	60	10	} mêmes éléments que pour les trains d'averses
	HYD1 b	0 H 20	"	"	
	"	"	"	
Jour 3	HYD2 a	3 H	60	10	} HYD1 et HYD2 du protocole long mêmes caractéristiques que pour le train d'averses ERO.6 du protocole long
	HYD2 b	0 H 40	"	"	
	ERO2 a	12 H 00	30	40	
	ERO2 b	0 H 40	60	20	
	ERO2 c	0 H 40	90	13	
	ERO2 d	0 H 40	120	10	

On notera enfin que ces programmes théoriques ont parfois dû être modifiés au dernier moment en raison d'incidents ou de conditions météorologiques défavorables (vent). Les caractéristiques des averses réellement appliquées aux parcelles sont données par les tableaux numérotés de III à X dans lesquels on trouvera successivement :

- * en colonne (1) : le numéro d'ordre chronologique de l'averse,
- en colonne (2) : le code de référence de l'averse selon le protocole,
- en colonne (3) : la date,
- en colonne (4) : l'heure du début de l'averse,
- en colonne (6) : l'intensité moyenne I de l'averse, obtenue par le rapport de la pluie moyenne Pu (voir colonne 8) à la durée totale tu,
- en colonne (7) : la durée totale de l'averse tu,
- en colonne (8) : la hauteur totale Pu de l'averse obtenue en prenant la moyenne des hauteurs relevées aux deux pluviomètres,
- en colonne (9) : SP, la hauteur de pluie cumulée en fin d'averse à partir du début des essais,
- en colonnes (10) et (12) : les hauteurs Pe1 et Pe2 des parties de l'averse ayant donné lieu à du ruissellement, respectivement sur les parcelles 1 et 2,
- * en colonnes (11) et (13) : les hauteurs de pluies d'imbibition Pi1 et Pi2 sur les parcelles 1 et 2 (Pi = Pu - Pe),
- en colonne (14) : erreur DI à craindre sur la détermination de l'intensité moyenne de la pluie (P1 et P2 étant les hauteurs mesurées aux deux pluviomètres linéaires, on a calculé $DI = \frac{P1 - P2}{2 tu}$)
- en colonne (15) : le rapport $|DI|/I$ exprimé en %.

- en colonne (16) : la vitesse moyenne du vent entre le début et la fin de l'averse.

Il convient d'insister ici sur l'attention qui doit être accordée aux chiffres de cette dernière colonne car l'analyse des hydrogrammes ainsi que l'examen comparatif des relevés effectués aux deux pluviomètres montrent que l'influence du vent est généralement très importante aux vitesses élevées.

En effet, au dessus de 6 ou 7 km/H l'arrosage des parcelles ne peut plus être considéré comme homogène et, si le vent souffle de façon irrégulière, les hydrogrammes présentent des oscillations d'amplitude notable qui rendent très aléatoire la détermination de caractéristiques telles que l'intensité de ruissellement en palier Rx. D'autre part, il n'est pas rare dans ce cas de trouver par le calcul des coefficients de ruissellement supérieurs à l'unité résultant d'une forte sous-estimation des hauteurs d'eau moyennes relevées aux pluviomètres. Etant donné que cette sous-estimation dépend non seulement de la force du vent mais encore de son orientation par rapport aux parcelles, il est pratiquement impossible d'évaluer les corrections à faire et on est ainsi conduit la plupart du temps à éliminer une partie des résultats des mesures correspondantes.

Ajoutons que pour plus de précaution on ne se contente pas de la prise en compte des valeurs moyennes de la vitesse du vent car elles peuvent être notablement inférieures à celles des rafales : pour la sélection des essais on utilise les anémogrammes tels que celui qui est présenté en figure 25 et on détecte ainsi les averses susceptibles de donner lieu à des résultats erronés.

TABLEAU III CARACTERISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE PNI.13

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
NO	REFERENCE	DATE	HEURE	TA	I	TU	PU	SPU	PE1	PI1	PE2	PI2	DT	D1/I	VENT	
				H	MM/H	MIN	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM/H	%	KM/H	
1	FRU 113	:27-	3-75:	8H38:**h**:	59.8	: 60'	0"	59.8:	59.8:	51.4:	8.4:	44.3:	15.5:	1.3:	2.2:	4
2	FRU 213	:28-	3-75:	8H23:22H11:	60.2	: 30'	0"	30.1:	89.9:	27.6:	2.5:	27.3:	2.8:	-0.6:	1.0:	4
3	FRU 313	:28-	3-75:	9H12: 0H19:	61.2	: 30'	0"	30.6:	120.5:	29.4:	1.2:	29.4:	1.2:	-0.3:	0.5:	5
4	FRU 413	:28-	3-75:	16H44: 7H 2:	59.9	: 30'	0"	29.9:	160.4:	27.9:	2.0:	28.0:	1.9:	1.1:	1.8:	4
5	FRU 513	:28-	3-75:	17H30: 0H16:	61.4	: 30'	0"	30.7:	181.1:	29.5:	1.2:	29.6:	1.1:	1.6:	2.6:	6A4
6	HYU 113	A:29-	3-75:	8H43:15H45:	59.7	: 11'	23"	11.3:	192.4:	9.7:	1.6:	9.9:	1.4:	0.4:	0.7:	3
7	HYU 113	B:29-	3-75:	9H14: 0H20:	59.7	: 10'	0"	10.0:	202.4:	8.7:	1.3:	8.8:	1.2:	0.9:	1.5:	R
8	HYU 113	C:29-	3-75:	9H44: 0H20:	59.7	: 10'	0"	10.0:	212.4:	8.8:	1.2:	8.8:	1.2:	2.4:	4.0:	4
9	HYU 113	D:29-	3-75:	10H14: 0H20:	57.6	: 10'	0"	9.6:	222.0:	8.4:	1.2:	8.5:	1.1:	1.8:	3.1:	4A13
10	HYU 113	E:29-	3-75:	10H44: 0H20:	59.0	: 10'	24"	10.2:	232.2:	8.9:	1.3:	9.2:	1.0:	3.0:	5.1:	6
11	HYU 113	F:29-	3-75:	11H14: 0H20:	57.9	: 10'	0"	9.7:	241.9:	8.4:	1.3:	8.5:	1.2:	1.6:	2.8:	5
12	HYU 113	G:29-	3-75:	11H45: 0H21:	59.0	: 10'	0"	9.8:	251.7:	8.5:	1.3:	8.7:	1.1:	2.0:	3.4:	4
13	HYU 113	H:29-	3-75:	12H15: 0H20:	58.8	: 10'	0"	9.8:	261.5:	8.6:	1.2:	8.7:	1.1:	1.2:	2.0:	3
14	HYU 213	A:29-	3-75:	15H40: 3H15:	58.8	: 10'	0"	9.8:	271.3:	8.3:	1.5:	8.5:	1.3:	1.2:	2.0:	2
15	HYU 213	B:29-	3-75:	16H30: 0H40:	60.1	: 10'	0"	10.0:	281.3:	8.7:	1.3:	8.9:	1.1:	0.4:	0.7:	2
16	HYU 213	C:29-	3-75:	17H20: 0H40:	60.7	: 10'	0"	10.1:	291.4:	8.8:	1.3:	9.0:	1.1:	0.7:	1.2:	1
17	HYU 213	D:29-	3-75:	18H10: 0H40:	59.7	: 10'	0"	9.9:	301.3:	8.9:	1.0:	8.9:	1.0:	0.3:	0.5:	VENT=0
18	HYU 313	A: 1-	4-75:	8H20:63H 0:	60.0	: 20'	0"	20.0:	321.3:	16.1:	3.9:	17.4:	2.6:	1.2:	2.0:	4
19	HYU 313	B: 1-	4-75:	9H10: 0H30:	60.2	: 20'	0"	20.1:	341.4:	18.6:	1.5:	18.4:	1.7:	-3.2:	5.3:	3
20	HYU 313	C: 1-	4-75:	10H 0: 0H30:	58.4	: 20'	0"	19.5:	360.9:	18.4:	1.1:	18.0:	1.5:	-3.2:	5.5:	R
21	HYU 313	D: 1-	4-75:	10H50: 0H30:	59.1	: 20'	0"	19.7:	380.6:	18.7:	1.0:	18.3:	1.4:	-3.5:	5.9:	R
22	FRU 613	A: 1-	4-75:	14H53: 3H45:	29.0	: 40'	0"	19.3:	399.9:	17.8:	1.5:	18.3:	1.0:	-1.4:	4.8:	4A8
23	FRU 613	B: 1-	4-75:	16H 3: 0H30:	58.4	: 20'	0"	19.5:	419.4:	17.8:	1.7:	18.4:	1.1:	-0.4:	0.7:	5
24	FRU 613	C: 1-	4-75:	16H53: 0H30:	82.7	: 13'	0"	17.9:	437.3:	16.3:	1.6:	16.8:	1.1:	-3.0:	3.6:	4
25	FRU 613	D: 1-	4-75:	17H36: 0H30:	113.2	: 10'	0"	18.9:	456.2:	16.7:	2.2:	17.4:	1.5:	-0.3:	0.3:	5
#26	FRU 713	: 2-	4-75:	10H52:17H 0:	61.9	:110'	0"	113.4:	569.6:	93.3:	20.1:	92.9:	20.5:	-2.1:	3.4:	4A12

* TRAITEMENT PARTICULIER POUR L' AVERSE 26: BUTTES CLOISONNEES SUR PARC.1.LABOUR + MULCH SUR PARC.2
 ** TA SUPERIEUR A 5 MOIS POUR L' AVERSE 1
 R: VENT EN RAFALES

TABLEAU IV CARACTERISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLÉ PNI.12

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
NO	REFERENCE	DATE	HEURE	TA	I	TU	PU	SPU	PE1	PI1	PE2	PI2	DI	DI/I	VENT	
					H	MM/H	MIN	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM/H	%	KM/H
1	FRU 112 A	5-4-75	10H47	**H**	55.1	16	0"	14.7	14.7	3.3	11.4	0.0	14.7	3.2	5.8	
2	FRU 112 B	5-4-75	11H34	0H30	60.9	60	0"	60.9	75.6	57.4	3.5	54.1	6.8	-1.6	2.6	4A11
3	FRU 212	6-4-75	8H48	20H14	58.1	30	0"	29.1	104.7	24.5	4.6	23.6	5.5	-1.1	1.9	4
4	FRU 312	6-4-75	9H33	0H15	59.6	30	15"	30.0	134.7	27.8	2.2	26.0	4.0	-3.6	6.0	9A14
5	FRU 412	6-4-75	17H 1	7H 0	60.5	30	0"	30.2	154.9	26.1	4.1	25.4	4.8	-3.2	5.3	7A12
6	FRU 512	6-4-75	17H46	0H15	61.6	30	0"	30.8	195.7	28.4	2.4	26.8	4.0	-2.2	3.6	7
7	HYD 112 A	7-4-75	8H10	13H54	58.4	10	0"	9.7	205.4	6.0	3.7	5.7	4.0	0.2	0.3	5
8	HYD 112 B	7-4-75	8H40	0H20	59.2	10	0"	9.9	215.3	7.8	2.1	6.8	3.1	-0.5	0.8	5
9	HYD 112 C	7-4-75	9H10	0H20	60.3	10	0"	10.0	225.3	7.8	2.2	6.8	3.2	-0.6	1.0	4
10	HYD 112 D	7-4-75	9H40	0H20	61.3	20	0"	20.5	245.8	18.5	2.0	17.4	3.1	-0.4	0.7	4
11	HYD 112 E	7-4-75	10H20	0H20	61.0	20	0"	20.3	266.1	18.3	2.0	17.5	2.8	-1.7	2.8	7
12	HYD 112 F	7-4-75	11H10	0H30	59.8	20	0"	19.9	286.0	17.7	2.2	16.9	3.0	-0.8	1.3	6
13	HYD 112 G	7-4-75	12H 0	0H30	60.0	30	0"	30.0	316.0	27.9	2.1	27.0	3.0	-0.6	1.0	6
14	HYD 112 H	7-4-75	13H 0	0H30	59.7	30	0"	29.9	345.9	27.9	2.0	26.7	3.2	-2.1	3.5	6A9
15	HYD 212 A	7-4-75	16H10	2H40	60.5	30	0"	30.2	376.1	27.5	2.7	27.2	3.0	-1.9	3.1	12A14
16	HYD 212 B	7-4-75	17H20	0H40	61.9	30	0"	31.0	407.1	28.8	2.2	28.1	2.9	0.6	1.0	6
17	HYD 312 A	10-4-75	8H10	62H20	58.8	20	0"	19.6	426.7	12.8	6.8	12.5	7.1	0.3	0.5	6A8
18	HYD 312 B	10-4-75	9H 0	0H30	60.1	20	0"	20.0	446.7	17.1	2.4	16.4	3.6	0.5	0.8	9.A12
19	HYD 312 C	10-4-75	9H50	0H30	59.2	20	0"	19.8	466.5	16.8	3.0	16.2	3.6	-0.4	0.7	13
20	HYD 312 D	10-4-75	10H40	0H30	59.8	20	0"	19.9	486.4	17.1	2.8	16.4	3.5	0.4	0.7	13A8
21	HYD 312 E	10-4-75	11H45	0H45	59.3	20	0"	19.8	506.2	16.9	2.9	16.5	3.3	-0.7	1.2	9A6
22	HYD 312 F	10-4-75	12H35	0H30	59.8	20	0"	19.9	526.1	17.2	2.7	16.4	3.5	0.7	1.2	7
23	HYD 612 A	10-4-75	16H10	3H15	28.9	40	0"	19.3	545.4	16.1	3.2	15.9	3.4	0.8	2.8	8
24	HYD 612 B	10-4-75	17H20	0H30	60.1	20	0"	20.0	565.4	17.2	2.8	17.1	2.9	0.1	0.2	7
25	HYD 612 C	10-4-75	18H10	0H30	84.5	13	0"	18.3	583.7	16.0	2.3	15.3	3.0	1.3	1.5	7
26	HYD 612 D	10-4-75	18H53	0H30	114.8	10	0"	19.1	602.8	16.7	2.4	15.9	3.2	2.2	1.9	7
*27	HYD 712	11-4-75	10H16	15H13	60.9	180	0"	182.7	785.5	169.4	12.8	166.2	16.5	-1.1	1.8	13A8

* TRAITEMENT PARTICULIER POUR L' AVERSE 27: BUTTES CLOISONNEES SUR PARC.1.LABOUR + MULCH SUR PARC.2
 ** TA SUPERIEUR A 5 MOIS POUR L' AVERSE 1

TABLEAU VI CARACTERISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE SPU.21

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
NO	REFERENCE	DATE	HEURE	TA	I	TU	PU	SPU	PE1	PI1	PE2	PI2	DI	DI/I	VENT	
				H	MM/H	MIN	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM/H	%	KM/H
1	ERO 121	:18-	4-75:	8H43:***	60.3	60	0"	60.3	60.3	51.8	8.5	45.0	15.3	1.5	2.5	5 A 4
2	HYD 121	A:19-	4-75:	8H10:23H27:	58.1	10	0"	9.7	70.0	6.5	3.2	6.0	3.7	1.9	3.3	6
3	HYD 121	B:19-	4-75:	8H40: 0H20:	58.6	10	0"	9.8	79.8	7.0	2.8	7.3	2.5	3.7	6.3	7
4	HYD 121	C:19-	4-75:	9H10: 0H20:	53.3	10	0"	8.9	88.7	6.1	2.8	6.5	2.4	1.3	2.4	19.3
5	HYD 121	D:19-	4-75:	9H40: 0H20:	53.7	10	0"	8.9	97.6	6.5	2.4	6.9	2.0	2.1	3.9	19.2
6	HYD 121	E:19-	4-75:	10H10: 0H20:	55.1	10	0"	9.2	106.8	6.6	2.6	7.1	2.1	2.2	4.0	15
7	HYD 121	F:19-	4-75:	10H40: 0H20:	56.7	10	0"	9.5	116.3	7.2	2.3	7.6	1.9	2.4	4.2	16
8	HYD 121	G:19-	4-75:	11H10: 0H20:	55.9	10	0"	9.3	125.6	6.9	2.4	7.4	1.9	1.6	2.9	15
9	HYD 121	H:19-	4-75:	11H40: 0H20:	53.9	10	0"	9.0	134.6	6.5	2.5	7.2	1.8	2.6	4.8	10
10	HYD 121	I:19-	4-75:	12H10: 0H20:	57.6	10	0"	9.6	144.2	7.3	2.3	7.8	1.8	1.8	3.1	15
11	HYD 221	A:19-	4-75:	15H15: 2H55:	59.3	10	0"	9.9	154.1	7.5	2.4	8.1	1.8	-1.7	2.9	10
12	HYD 221	B:19-	4-75:	16H 5: 0H40:	59.0	10	0"	9.8	163.9	7.4	2.4	8.3	1.5	-2.9	4.9	6
13	HYD 221	C:19-	4-75:	16H55: 0H40:	59.3	10	0"	9.9	173.8	8.0	1.9	8.3	1.6	-1.7	2.9	4
14	HYD 221	D:19-	4-75:	17H45: 0H40:	61.0	10	0"	10.2	184.0	8.1	2.1	8.6	1.6	-1.0	1.6	1
15	ERO 221	A:20-	4-75:	8H10:14H15:	30.4	40	0"	20.3	204.3	17.1	3.2	18.7	1.6	-2.4	7.9	7 A 4
16	HYD 221	B:20-	4-75:	9H30: 0H40:	74.0	20	0"	24.6	228.9	21.5	3.1	22.3	2.3	-13.1	17.7	9 A 11
17	ERO 221	C:20-	4-75:	10H30: 0H40:	90.5	13	0"	19.6	248.5	16.9	2.7	17.8	1.8	-10.2	11.3	7 A 11
18	ERO 221	D:20-	4-75:	11H23: 0H40:	120.6	10	0"	20.1	268.6	17.7	2.4	18.2	1.9	-4.2	3.5	6

** TA SUPERIEUR A 5 MOIS POUR L' AVERSE 1

TABLEAU V CARACTERISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE PN1.11

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
NU	REFERENCE	DATE	HEURE	TA	I	TU	PU	SPU	PE1	PI1	PE2	PT2	DI	DI/I	VENT	
				H	MM/H	MIN	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM/H	%	KM/H	
1	ERO 111	:13-	4-75:	8H30:	**H**:	59.4	60' 0"	59.4:	59.4:	54.0:	5.4:	44.6:	14.8:	-4.5:	7.6:	6A18
2	HYD 111	A:14-	4-75:	8H10:	22H40:	59.4	10' 0"	9.9:	69.3:	5.7:	4.2:	6.0:	3.9:	-5.4:	9.1:	9
3	HYD 111	B:14-	4-75:	8H40:	0H20:	58.9	10' 0"	9.8:	79.1:	8.0:	1.8:	7.9:	1.9:	-5.0:	8.5:	8
4	HYD 111	C:14-	4-75:	9H10:	0H20:	59.3	10' 0"	9.9:	89.0:	8.0:	1.3:	8.2:	1.7:	-5.4:	9.3:	11
5	HYD 111	D:14-	4-75:	9H40:	0H20:	59.2	10' 0"	9.9:	98.9:	8.7:	1.2:	8.3:	1.6:	-3.1:	5.2:	10
6	HYD 111	E:14-	4-75:	10H10:	0H20:	58.1	10' 0"	9.7:	108.6:	8.4:	1.3:	8.2:	1.5:	-2.9:	5.0:	10
7	HYD 111	F:14-	4-75:	10H40:	0H20:	57.9	10' 0"	9.7:	118.3:	8.4:	1.3:	8.2:	1.5:	-2.1:	3.6:	10
8	HYD 111	G:14-	4-75:	11H10:	0H20:	56.7	10' 0"	9.5:	127.8:	8.3:	1.2:	8.1:	1.4:	-2.1:	3.7:	8
9	HYD 111	H:14-	4-75:	11H40:	0H21:	56.7	10' 0"	9.5:	137.3:	8.2:	1.3:	8.1:	1.4:	-2.7:	4.8:	13
10	HYD 111	I:14-	4-75:	12H12:	0H21:	57.3	10' 0"	9.5:	146.8:	8.1:	1.4:	8.0:	1.5:	-1.5:	2.6:	10
11	HYD 211	A:14-	4-75:	13H30:	3H 8:	57.4	10' 0"	9.6:	156.4:	6.7:	2.9:	7.3:	2.3:	-0.7:	1.2:	10
12	HYD 211	B:14-	4-75:	16H30:	0H50:	58.8	10' 0"	9.8:	166.2:	7.6:	2.2:	7.9:	1.9:	-2.4:	4.1:	9
13	HYD 211	C:14-	4-75:	17H20:	0H40:	59.6	10' 0"	9.9:	176.1:	8.1:	1.8:	*****:	*****:	-1.4:	2.3:	9
14	HYD 211	D:14-	4-75:	18H10:	0H40:	59.4	10' 0"	9.9:	186.0:	8.2:	1.7:	8.4:	1.5:	-0.6:	1.0:	6
15	ERO 211	A:15-	4-75:	9H10:	14H50:	28.9	40' 0"	19.2:	205.2:	16.7:	2.5:	18.1:	1.1:	-3.5:	12.1:	10A14
16	ERO 211	B:15-	4-75:	10H20:	0H40:	57.9	19' 35"	18.9:	224.1:	17.3:	1.6:	16.7:	2.2:	-6.7:	11.6:	9A18
17	ERO 211	C:15-	4-75:	11H10:	0H30:	80.4	13' 0"	17.4:	241.5:	15.8:	1.6:	15.5:	1.9:	-7.8:	9.7:	8A12
18	ERO 211	D:15-	4-75:	11H53:	0H30:	103.2	10' 54"	18.8:	260.3:	16.9:	1.9:	16.8:	2.0:	-1.9:	1.8:	11A16

** TA SUPERIEUR A 5 MOIS POUR L' AVERSE 1
 ***** VALEUR DE PI IMPRECISE OU INCONNUE

TABLEAU VII CARACTERISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE SPO.22

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
NO	REFERENCE	DATE	HEURE	TA	I	TU	PU	SPU	PE1	PI1	PE2	PI2	DI	DI/I	VENT
				H	MM/H	MIN	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM/H	%	KM/H
1	FRU 122	:22-	4-75:10H 5:	**F**	59.9	60' 0"	59.9	59.9	47.8	12.1	41.1	14.8	1.5	2.5	248
2	FRU 222	:23-	4-75: 8H51:21H46:		56.8	30' 0"	28.4	88.3	26.8	1.6	25.8	2.6	-0.8	1.4	8A12
3	FRU 322	3:23-	4-75: 9H38: 0H17:		57.8	30' 0"	28.9	117.2	27.6	1.3	27.7	1.2	0.2	0.3	1A12
4	FRU 422	:23-	4-75:16H34: 6H26:(		58.5)	30' 0"	29.2	146.4	27.6	1.6	27.7	1.5	****	****	7A10
5	FRU 522	:23-	4-75:17H21: 0H17:		60.9	30' 0"	30.5	176.9	29.3	1.2	29.1	1.4	2.1	3.4	5.5
6	HYD 122	A:24-	4-75: 9H17:15H 9:		59.0	10' 0"	9.8	186.7	8.0	1.8	8.6	1.2	-1.4	3.2	4
7	HYD 122	B:24-	4-75: 9H47: 0H20:		59.7	10' 0"	10.0	196.7	8.8	1.2	8.9	1.1	-2.4	4.0	6
8	HYD 122	C:24-	4-75:10H18: 0H21:		59.9	10' 0"	10.0	206.7	8.8	1.2	8.9	1.1	-2.2	3.7	6
9	HYD 122	D:24-	4-75:11H32: 1H 0:		28.7	20' 0"	9.6	216.3	8.5	1.1	8.8	0.8	-0.9	3.1	5
10	HYD 122	E:24-	4-75:12H12: 0H20:		29.6	20' 0"	9.9	226.2	8.9	1.0	9.1	0.8	-0.6	2.0	7
11	HYD 122	F:24-	4-75:12H53: 0H21:		28.4	25' 0"	11.8	238.0	10.8	1.0	11.1	0.7	0.0	0.0	8
12	HYD 222	A:24-	4-75:17H20: 5H20:		58.5	10' 0"	9.8	247.8	8.4	1.4	8.7	1.1	2.6	4.4	3.3
13	HYD 222	B:24-	4-75:18H10: 0H40:		60.4	10' 0"	10.1	257.9	8.8	1.3	9.0	1.1	0.4	0.7	VENT=0
14	HYD 322	A:27-	4-75: 9H 5:62H45:(		59.6)	20' 0"	19.9	277.8	17.6	2.3	17.9	2.0	****	****	15 H
15	HYD 322	B:27-	4-75: 9H55: 0H30:		62.5	20' 0"	20.8	298.6	19.4	1.4	19.6	1.2	5.3	8.5	13
16	HYD 322	C:27-	4-75:10H45: 0H30:		59.8	20' 0"	19.9	318.5	18.7	1.2	18.8	1.1	4.3	7.2	12
17	FRU 622	A:27-	4-75:15H20: 4H15:		28.8	40' 0"	19.2	337.7	17.7	1.5	18.1	1.1	1.4	4.9	6
18	FRU 622	B:27-	4-75:16H30: 0H30:		58.8	20' 0"	19.6	357.3	18.5	1.1	18.7	0.9	1.7	2.9	4.4
19	FRU 622	C:27-	4-75:17H20: 0H30:		88.2	13' 0"	19.1	376.4	18.0	1.1	18.1	1.0	0.9	1.0	1.4
20	FRU 622	D:27-	4-75:18H 3: 0H30:		122.2	10' 0"	20.4	396.8	19.3	1.1	19.2	1.2	-2.9	2.4	VENT=0
*21	FRU 722	:29-	4-75:10H 3:39H50:		92.2	25' 0"	38.4	435.2	36.6	1.8	28.3	10.1	-0.4	0.4	7.7

* TRAITEMENT PARTICULIER POUR L' AVERSE 21: PARCELLE NO 2 LAHOREE A NOUVEAU
 ** TA SUPERIEUR A 5 MOIS POUR L' AVERSE 1

TABLEAU VIII CARACTERISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE BTG.31

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
NO	REFERENCE	DATE	HEURE	TA	I	TU	PU	SPU	PE1	PI1	PE2	PI2	DI	DI/1	VENT
				H	MM/H	MIN	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM/H	%	KM/H
* 1	FRU 131	5-5-75	9H40:48H 0:	91.6	40	0"	61.1	61.1	49.4	11.7	45.7	15.4	9.1	9.9	12.7
2	HYD 131 A:	6-5-75	7H45:22H 5:	55.4	10	0"	9.2	70.3	7.5	1.7	7.1	2.1	4.6	8.3	6A18:
3	HYD 131 B:	6-5-75	8H15: 0H20:	60.1	10	0"	10.0	80.3	8.6	1.4	8.6	1.4	0.7	1.2	10A18:
4	HYD 131 C:	6-5-75	8H45: 0H20:	57.5	10	0"	9.8	89.9	8.5	1.1	8.9	0.7	1.3	2.3	10A17:
5	HYD 231 A:	6-5-75	15H15: 6H20:	63.1	10	0"	10.5	100.4	8.9	1.6	8.9	1.6	7.6	12.0	8A12:
6	HYD 231 B:	6-5-75	16H 5: 0H40:	60.1	10	0"	10.0	110.4	8.7	1.3	8.9	1.1	3.7	6.2	" :
7	HYD 231 C:	6-5-75	17H 0: 0H45:	60.5	10	0"	10.1	120.5	8.8	1.3	9.2	0.9	4.7	7.8	6A10:
8	HYD 231 D:	6-5-75	18H 0: 0H50:	59.7	10	0"	9.9	130.4	8.8	1.1	9.1	0.8	4.2	7.0	10A14:
9	FRU 231 A:	7-5-75	10H 2:15H52:	31.2	40	0"	20.8	151.2	19.2	1.6	19.5	1.3	2.4	7.7	4A18:
10	FRU 231 A:	7-5-75	11H32: 0H50:	58.8	20	0"	19.6	170.8	18.3	1.3	18.6	1.0	3.3	5.6	13 :
11	FRU 231 C:	7-5-75	12H42: 0H50:	86.8	13	0"	18.8	189.6	17.2	1.6	17.7	1.1	3.4	3.9	6A9 :
12	FRU 231 D:	7-5-75	14H 0: 0H55:	115.5	10	0"	19.2	208.8	17.4	1.8	18.0	1.2	2.7	2.3	9 :

* TRAITEMENT PARTICULIER POUR L'AVERSE 1: ASPERSION PREALABLE DES PARCELLES PLUSIEURS JOURS DURANT

TABLEAU IX CARACTERISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE BTG.32

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	
NO	REFERENCE	DATE	HEURE	TA	I	TU	PU	SPU	PE1	PI1	PE2	PI2	DI	DI/I	VENT	
					H	MM/H	MIN	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM/H	%	KM/H
1	FRU 132	9-5-75	11H20	**H**	94.7	60	0"	94.7	94.7	85.8	8.9	80.4	14.3	*****	****	5A10
2	FRU 232	10-5-75	9H15	21H55	63.1	30	0"	31.5	126.2	27.6	3.9	29.0	2.5	9.5	15.1	14A16
3	FRU 332	10-5-75	19H 1	0H16	62.7	30	0"	31.3	157.5	30.0	1.3	30.1	1.2	8.0	14.2	16A17
4	FRU 432	10-5-75	15H 5	4H30	60.1	30	0"	30.1	187.6	27.6	2.5	28.8	1.3	1.2	2.0	6
5	FRU 532	10-5-75	15H55	0H20	59.1	30	0"	29.5	217.1	28.5	1.0	28.7	0.8	2.2	3.7	8.6
6	HYD 132	A:12-5-75	10H40	42H15	54.1	10	0"	9.0	226.1	5.3	3.7	6.4	2.6	2.2	4.1	18
7	HYD 132	B:12-5-75	11H20	0H30	55.1	10	0"	9.2	235.3	7.1	2.1	7.8	1.4	2.0	3.6	18
8	HYD 132	C:12-5-75	12H 0	0H30	56.1	10	0"	9.3	244.6	7.4	1.9	8.0	1.3	2.4	4.3	13.2
9	HYD 132	D:12-5-75	12H40	0H30	54.0	10	0"	9.0	253.6	7.3	1.7	7.9	1.1	1.8	3.3	21
10	HYD 132	E:12-5-75	13H21	0H31	55.6	10	0"	9.3	262.9	7.4	1.9	8.1	1.2	1.3	2.3	17
11	HYD 132	F:12-5-75	14H 0	0H29	54.6	10	0"	9.1	272.0	7.3	1.8	8.0	1.1	1.5	2.7	19
12	HYD 132	G:12-5-75	14H45	0H35	54.6	10	0"	9.1	281.1	7.3	1.8	8.0	1.1	2.1	3.8	17
13	HYD 132	H:12-5-75	15H35	0H40	57.4	10	0"	9.6	290.7	7.7	1.9	8.6	1.0	2.5	4.4	13
14	HYD 332	A:15-5-75	8H40	40H55	58.2	20	0"	19.4	310.1	14.0	5.4	15.5	3.9	3.8	6.5	12
15	HYD 332	B:15-5-75	9H30	0H30	58.9	20	0"	19.6	329.7	16.7	2.9	18.4	1.2	2.8	4.8	11
16	HYD 332	C:15-5-75	10H20	0H30	58.0	20	0"	19.3	349.0	17.3	2.0	18.2	1.1	3.0	5.2	13.5
17	HYD 332	D:15-5-75	11H10	0H30	58.4	20	0"	19.5	368.5	17.9	1.6	18.4	1.1	3.2	5.5	9
18	FRU 632	A:15-5-75	15H 5	3H25	29.1	40	0"	19.4	387.9	17.1	2.3	18.1	1.3	5.7	19.6	15
19	FRU 632	B:15-5-75	16H25	0H40	58.3	20	0"	19.4	407.3	17.9	1.5	18.4	1.0	5.2	8.9	13.5
20	FRU 632	C:15-5-75	17H25	0H40	90.7	13	0"	19.6	426.9	17.7	1.9	18.5	1.1	14.5	16.0	14
*21	FRU 732	:16-5-75	9H58	16H20	93.4	60	0"	93.4	520.3	80.6	12.8	86.7	6.7	5.0	5.4	6.5

* TRAITEMENT PARTICULIER POUR L'AVERSE 21: BUTTAGE CLOISONNE SUR PARC.1.L'ABOUR + PAILLIS SUR PARC.2
 ** TA SUPERIEUR A 5 MOIS POUR L'AVERSE 1

TABLEAU X CARACTERISTIQUES DES AVERSES SUR LE COUPLE LBA.41

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
NO	REFERENCE	DATE	HEURE	TA	I	TU	PU	SPU	PE1	PI1	PE2	PI2	DI	DI/I	VENT
				H	MM/H	MIN	MM	MM	MM	MM	MM	MM	MM/H	%	KM/H
1	FRU 141	:22-	5-75:10H	0:**H**	60.9	60	0"	60.9	60.9	52.2	8.7	51.0	9.9	-0.4	1.0: 4A11 H
2	FRU 241	:23-	5-75: 8H	2:21H 0:	59.7	30	0"	29.9	90.8	27.3	2.6	26.9	3.0	-5.4	9.0: 7A15
3	FRU 341	:23-	5-75: 8H49:	0H17:	62.0	30	0"	31.0	121.8	29.6	1.4	29.4	1.6	-5.4	8.7: 7A12
4	FRU 441	:23-	5-75:16H30:	7H10:	64.9	29	30"	31.9	153.7	29.6	2.3	28.7	3.2	5.3	8.2:10A14
5	FRU 541	:23-	5-75:17H10:	0H16:	64.8	30	0"	32.4	186.1	30.9	1.5	30.5	1.9	7.4	11.4: 10
6	HYD 141 A:	24-	5-75: 7H55:	14H15:	59.8	10	0"	10.0	196.1	8.0	2.0	7.4	2.6	4.6	7.7: 13
7	HYD 141 H:	24-	5-75: 8H25:	0H20:	60.2	10	0"	10.0	206.1	8.6	1.4	8.3	1.7	2.0	3.3: 13
8	HYD 141 C:	24-	5-75: 8H55:	0H20:	59.7	10	0"	10.0	216.1	8.5	1.5	8.4	1.6	-0.3	0.5: 12
9	HYD 141 D:	24-	5-75: 9H25:	0H20:	61.5	10	0"	10.2	226.3	8.4	1.8	8.4	1.8	3.9	6.3: 12
10	HYD 241 A:	24-	5-75:15H45:	6H10:	58.7	10	0"	9.8	236.1	7.3	2.5	7.0	2.8	3.0	5.1: 4
11	HYD 241 H:	24-	5-75:16H35:	0H40:	59.8	10	0"	10.0	246.1	8.3	1.7	7.8	2.2	4.6	7.7: 7
12	HYD 241 C:	24-	5-75:17H25:	0H40:	61.4	10	0"	10.2	256.3	8.7	1.5	8.1	2.1	4.0	6.5: 5
13	HYD 241 D:	24-	5-75:18H15:	0H40:	59.7	10	0"	9.9	266.2	8.3	1.6	7.5	2.4	0.8	1.3: 4
14	HYD 341 A:	27-	5-75: 6H40:	62H15:	59.5	20	0"	19.8	286.0	15.7	4.1	15.7	4.1	-0.7	1.2: 8A11
15	HYD 341 H:	27-	5-75: 9H30:	0H30:	60.1	20	0"	20.0	306.0	18.2	1.8	18.2	1.8	-0.4	0.7: 9
16	HYD 341 C:	27-	5-75:10H20:	0H30:	61.6	20	0"	20.5	326.5	18.7	1.8	18.7	1.8	0.8	1.3: 9
17	FRU 641 A:	27-	5-75:15H30:	4H50:	31.2	40	0"	20.6	347.3	17.8	3.0	18.2	2.6	0.4	1.3: 2.5
18	FRU 641 H:	27-	5-75:16H40:	0H30:	59.3	20	0"	19.8	367.1	17.6	2.2	17.3	2.5	-1.5	2.5: 1.5
19	FRU 641 C:	27-	5-75:17H30:	0H30:	88.4	13	0"	19.1	386.2	17.0	2.1	17.2	1.9	-3.5	4.0: 2.8
20	FRU 641 D:	27-	5-75:18H13:	0H30:	120.5	10	0"	20.1	406.3	18.0	2.1	18.0	2.1	-0.4	0.3: VENT=0
*21	FRU 741	:28-	5-75: 9H55:	15H30:	62.4	107	35"	111.9	518.2	103.2	8.7	105.5	6.4	2.3	3.7: 6.5

* TRAITEMENT PARTICULIER POUR L'AVERSE 21: BUTAGE CLUISSONNE SUR PARC.1.LABOUR + PAILLIS SUR PARC.2
 ** TA SUPERIEUR A 5 MOIS POUR L'AVERSE 1

CHAPITRE III

LES DONNEES D'OBSERVATION

Après dépouillement des enregistrements limnigraphiques et traitement en laboratoire des échantillons d'eau turbide, on est en mesure d'établir pour chaque essai les deux hydrogrammes et les deux turbidigrammes relatifs aux parcelles du couple. Etant donné que ces courbes constituent les points de départ de tous les développements qui suivront, on se propose tout d'abord d'en donner une description générale et de définir les principales caractéristiques qui seront retenues comme données de base en précisant le choix des symboles et celui des unités. On fournira ensuite les tableaux de données caractéristiques de ruissellement, d'infiltration et d'érosion puis, averse par averses on procèdera à un premier examen des phénomènes réellement observés sur un couple de parcelles.

3.1. Description générale des phénomènes observables - Définitions :

3.1.1. Les processus de ruissellement :

La figure 26 est la traduction graphique du processus généralement observé à l'exutoire d'une parcelle. Le temps t a été porté en abscisse avec pour origine l'instant correspondant au début de la pluie. L'unité de temps généralement adoptée par commodité pour les reports graphiques est la minute mais dans la pratique des calculs et par souci d'homogénéité, c'est l'heure qui est utilisée. En ordonnée sont portées en millimètres par heure les variations d'intensité des différents termes du bilan qui sont :

- la hauteur de pluie cumulée $P(t)$ à laquelle correspond l'intensité de pluie $I(t)$,
- la lame d'eau ruisselée cumulée $L(t)$ à laquelle correspond l'intensité de ruissellement $R(t)$,
- la lame d'eau infiltrée cumulée $W(t)$ à laquelle correspond l'intensité d'infiltration $F(t)$,
- la lame d'eau stockée à la surface de la parcelle $S(t)$.

Ce dernier terme étant lui-même, comme on le verra, la somme de plusieurs autres, on n'affectera pas pour le moment de symbole particulier à l'intensité correspondante $\frac{dS}{dt}$.

Si l'intensité d'averse programmée est constante, en l'absence d'incidents tels que rafales de vent, défaillance d'une pompe, épuisement des réserves en eau et, d'une façon générale, toute cause susceptible de perturber le débit de l'appareil, le hyétogramme de l'averse simulée est représenté par un segment de droite d'ordonnée $I(t) = I_m$.

Quant à l'hydrogramme de ruissellement (en trait plein sur la figure 26), il est constitué, si l'averse est suffisamment longue, par quatre portions de courbe correspondant à des phases bien individualisées du processus : une phase d'imbibition ($R = 0$), une phase transitoire (R croissant), une phase de régime permanent (R constant) et une phase de vidange. Il s'agit, précisons-le, d'un hydrogramme spécifique car il représente un débit rapporté à la surface et s'exprimant en mm/H.

Du début de la pluie jusqu'au temps t_i , on n'observe aucun ruissellement à l'exutoire. C'est ce qu'il est convenu d'appeler la phase d'imbibition. Durant les premiers temps de cette phase, l'intensité potentielle d'infiltration de la parcelle est en tous points supérieure à l'intensité de la pluie qui parvient au sol. Si l'on néglige la hauteur de précipitation interceptée par la végétation et qui figure pour mémoire (I_{nt}) sur le graphique, l'infiltration est totale.

Il arrive cependant un moment que l'on désigne d'ordinaire par t_p (time to ponding), où la capacité d'infiltration ayant déchu, elle devient localement inférieure à l'intensité de la pluie (figure 27). Dans le cas général, la surface du sol n'étant pas absolument plane, l'excès d'eau reste alors sur place et sert au remplissage des cuvettes formées par les dépressions.

En rapportant à la superficie de la parcelle, le volume d'eau retenu par les flaques, on définit une hauteur moyenne $S(t)$ mentionnée plus haut et qui représente le stockage superficiel immobilisé.

Par la suite, on utilisera les notations suivantes pour désigner les hauteurs des différentes lames d'eau que l'on a besoin de prendre en considération :

- la hauteur totale de pluie d'imbibition $P_i = P(t_i)$,
- la hauteur de pluie d'imbibition préliminaire ou préalable, $P_p = P(t_p)$,
- la hauteur de la lame d'eau stockée à l'apparition du ruissellement, $S_i = S(t_i)$,
- les hauteurs d'eau W_i et W_p qui ont en moyenne pénétré dans le sol aux temps respectifs t_i et t_p .

On notera toutefois que les cinq quantités ainsi définies peuvent être réduites à trois, car on a bien évidemment les relations :

$$P_p = W_p$$

et $P_i = W_i + S_i$

Au temps t_i , quelques flaques commencent à déborder, de l'eau se met en mouvement et parvient à l'exutoire, le ruissellement se déclenche.

La portion d'hydrogramme correspondant à cette phase affecte la forme d'un S aux courbures plus ou moins accentuées qui traduit un régime transitoire. Les valeurs prises par l'intensité de ruissellement résultent en effet de la superposition de trois phénomènes variables :

- diminution continue de l'intensité d'infiltration,
- augmentation de la hauteur moyenne de la lame d'eau en mouvement à la surface de la parcelle (détention superficielle mobilisable D_m),
- augmentation jusqu'au temps t_s du stockage S par les flaques incomplètement remplies lorsque le ruissellement s'est localement déclenché. Au-delà du temps t_s , à moins que la parcelle ne comporte des dépressions très accusées dans lesquelles le niveau de remplissage se stabilise sans débordement, la totalité de la superficie participe au ruissellement.

Compte tenu de ce qui précède, si l'on admet que les temps de transport sont négligeables, l'équation de continuité relative au bilan s'écrit simplement dans le cas général :

$$P(t) - L(t) - W(t) - D_m(t) - S(t) = 0 \quad (1)$$

soit encore en dérivant :

$$I - R(t) - F(t) - \frac{d D_m}{dt} - \frac{d S}{dt} = 0 \quad (2)$$

Moyennant certaines hypothèses, on sera conduit plus loin à donner une formulation mathématique de $L(t)$ ou de $R(t)$ dans quelques cas particuliers. Il sera alors pratique de prendre comme nouvelle origine des temps le début du ruissellement, c'est-à-dire de définir un temps efficace :

$$T = t - t_i$$

et une durée d'averse efficace $T_e = t_u - t_i$ (voir fig. 26).

A partir d'un temps t_m qui marque la fin du régime transitoire, on assiste à l'établissement d'un régime quasi-permanent pour l'infiltration qui atteint une valeur minimale F_N . Ceci se traduit sur l'hydrogramme par un palier de ruissellement se poursuivant jusqu'à l'arrêt de la pluie. On désignera par le symbole R_x cette valeur maximale du ruissellement et l'on a bien évidemment pour $t = t_m$:

$$R(t) = R_x = I - F_N$$

$$\text{et } L(t) = L(t_m) + (I - F_N)(t - t_m)$$

cette dernière relation montrant que la lame d'eau ruisselée devient une fonction linéaire du temps ou de la hauteur de pluie.

Au-delà de l'instant t_u qui marque l'arrêt de la pluie, le ruissellement décroît progressivement pour s'annuler au temps t_f . Il s'agit là de la phase de vidange des réserves superficielles mobilisables pour le ruissellement. A chaque instant la diminution de ces réserves se partage entre ruissellement et infiltration selon l'équation (2) dans laquelle on doit bien entendu annuler le terme $I(t)$. Quant à la quantité d'eau qui s'écoule hors de la parcelle pendant la durée totale de la vidange, elle est donnée par l'équation (1) qui devient :

$L(t_f) - L(t_u) = D_m(t_u) + S(t_u) - S(t_f) + W(t_u) - W(t_f)$, soit en désignant par D_r (détention superficielle récupérable pour le ruissellement) la hauteur de la lame d'eau qui s'écoule après l'arrêt de la pluie et par W_f celle qui s'infiltré entre les instants t_u et t_f .

$$D_r = D_m + S(t_u) - S(t_f) - W_f \quad (3)$$

Notons également ici que pour établir ultérieurement une expression de cette loi de vidange, il sera pratique de prendre l'instant t_u comme nouvelle origine et de définir un temps de vidange :

$$\begin{aligned} \tau &= t - t_u, \text{ ainsi qu'une durée de vidange,} \\ \tau_f &= t_f - t_u. \end{aligned}$$

Les quatre phases qui viennent d'être inventoriées et décrites seront successivement analysées au chapitre suivant. Pour cela on sera parfois conduit à examiner des cas de figure simplifiés correspondant à des sols imperméables, plans, homogènes, uniformes. Si les adjectifs "imperméable" et "plan" sont suffisamment explicites, il semble en revanche utile de préciser que l'on entend ici par "homogène" un sol dont la capacité d'infiltration est la même en tous les points de la parcelle pour un état donné d'humectation. Le sol sera en outre uniforme si ses propriétés de conductivité hydraulique sont indépendantes de la profondeur (par opposition aux sols constitués d'un empilement d'horizons de propriétés différentes). Ces conditions idéales ne sont que très rarement remplies en pratique mais on verra qu'il est fructueux de les envisager de façon théorique pour mettre en évidence les effets de certains facteurs qui, dans les cas réels, n'apparaissent pas de façon suffisamment nette.

3.1.2. Les processus d'érosion :

Contrairement au tracé de l'hydrogramme qui est l'interprétation graphique de processus continus inscrits au niveau des limnigrammes, le bilan pondéral de l'érosion ne peut être déterminé que par des observations discontinues tout au long de l'averse.

On procède en effet à des prélèvements d'échantillons d'eau de volume constant, plus ou moins chargés en matériaux érodés et ceci, au niveau du déversoir (dispositif numéroté 15 sur le schéma de la figure 23). Pour une pluie donnée, des prélèvements sont effectués généralement en des instants où le risque de perturber l'enregistrement du ruissellement est minime, c'est-à-dire pour des valeurs de $R(t)$ suffisamment importantes. Ces instants de prélèvement sont repérés sur le limnigramme, en cours d'essai, par un trait de stylet et, pour vérifications supplémentaires, par chronométrage depuis le temps du début de l'averse (t_0). Les sédiments sont mis à décanter après floculation des 2 litres d'eau turbide par 2 cc de sulfate d'alumine à 5 %, récupérés après siphonage du surnageant, séchés, pesés (étuve à 105° C). Dans ces conditions : la surcharge de sulfate d'alumine est négligeable, par contre la turbidité des eaux de lac admises au simulateur doit être systématiquement retranchée. Il devient alors possible de pointer les résultats sur un graphique de même abscisse temps que l'hydrogramme et d'ordonnée mentionnant les concentrations

(ou "charge solide", ou "turbidités") C en unité de poids par unité de volume; nous utilisons ici le gramme/litre.

On obtient donc, pour un essai donné, la courbe représentative de l'érosion, ou turbidigramme. Comme nous l'avons souligné précédemment, par comparaison avec l'hydrogramme obtenu facilement par lissage d'un enregistrement continu, le tracé des turbidigrammes est souvent plus délicat et ce pour différentes raisons :

- faibles nombres des prélèvements pour des averses courtes et donc fiabilité amoindrie des turbidités correspondantes,
- confusion possible entre des "accidents" et des variations significatives de cette turbidité ; par "accident" il faut entendre, par exemple, des lachages soudains de sédiments accumulés dans le canal de ruissellement.

Cependant, lors de cette campagne, la multiplicité des essais et les observations des modifications subies par les parcelles tout au long des averses ont permis de tracer assez objectivement ces turbidigrammes.

La conjugaison de l'hydrogramme/^{spécifique} et du turbidigramme permet d'obtenir le solidigramme qui est la courbe représentative des quantités de terre érodées par unité de temps et de surface : il s'agit donc d'un débit solide Q qui peut être exprimé en gramme/heure/mètre carré ou encore en gramme/seconde/hectare, unité que nous avons retenue ici :

$$Q(t) = C(t) \cdot R(t)$$

Pour obtenir ce solidigramme, on tient compte de la valeur de l'intensité du ruissellement déduite de l'hydrogramme lissé et correspondant à l'instant du prélèvement de l'échantillon. Pour des valeurs élevées de R, on peut assimiler le très court laps de temps nécessaire à la collecte de l'échantillon à un point sur l'hydrogramme. Nous verrons dans un chapitre suivant que le planimétrage de cette courbe des débits solides permet de déduire la masse de terre érodée E (en kilogramme/hectare ou en tonne/hectare).

L'ensemble de ces données sera présentée en relation avec les caractéristiques des averses correspondantes et des traitements culturaux mis en oeuvre pour accéder à une analyse de l'érosion.

Le dépouillement de quelques 160 essais permet de caractériser un nombre restreint de types de turbidigrammes. Cette classification résulte de l'examen des différentes formes susceptibles d'être prises par les portions successives de courbes les constituant. Voyons donc par l'intermédiaire de quelques turbidigrammes typiques quels peuvent être les phénomènes observables en relation avec les différentes phases du ruissellement telles qu'elles ont été présentées précédemment.

3.1.2.1. Premier type de turbidigramme (modèle averse ERO 113.1) :

La figure 28 représente le Type le plus généralement observé. En abscisse sont portés le temps en minutes et en ordonnée, la concentration en g/l. Ce type correspond au cas réel de la figure 33 où figurent également deux autres échelles de données :

- les intensités en mm/h correspondant au pluviogramme (I) et à l'hydrogramme (R),
- les débits solides Q en g/s/ha.

On constate que la turbidité s'accroît très rapidement dès l'apparition du ruissellement, que son maximum (C_s) est atteint avant l'obtention du palier du ruissellement donc pour $t_i < t_{C_s} < t_m$, qu'elle décroît ensuite très vite jusqu'à atteindre un palier horizontal s'établissant progressivement pendant la phase du régime permanent du ruissellement : C_x .

La portion de courbe $C = f(t)$ correspondant à la phase de vidange des réserves superficielles mobilisables pour le ruissellement ($t_u < t < t_f$) peut rarement être tracée, car pendant ce laps de temps les prélèvements d'eau turbide sont généralement arrêtés pour ne pas compromettre ces ultimes écoulements. On suppose que cette portion de courbe que nous avons néanmoins fait figurer sur le graphique 28, suit une loi de décroissance analogue à celle de la diminution de la détention superficielle D_r récupérable pour le ruissellement. On remarque qu'au temps t_f la turbidité des ultimes écoulements ne peut pas être nulle.

Des études plus récentes réalisées dans le nord et le centre (J. COLLINET, A. LAFFORGUE 1975 et 1976) ainsi que dans le sud de la CÔTE D'IVOIRE (A. LAFFORGUE, C. VALENTIN 1977 et 1978) ont confirmé ce premier type d'évolution des charges solides en fonction du temps. Il devient possible d'émettre certaines hypothèses de travail sur l'évolution de l'érosion au cours des essais et ce, pour de multiples "situations".

- 1°) Pendant la phase d'imbibition, donc de t_0 à t_i , on suppose :

- a) une mobilisation des particules meubles disposées à la surface du sol : dépôts éoliens, sédiments délaissés pendant la phase de vidange de l'averse précédente, matériaux remaniés par la faune du sol. Cette mobilisation passe par différents stades :
 - * de t_0 à t_p on assiste à une humectation, ou une réhumectation de tous ces éléments puis à des charriages latéraux sur de faibles distances depuis des points hauts jusqu'aux points bas grâce aux multiples ruissellements locaux ne débouchant pas encore dans le canal,
 - * de t_p à t_i il se produit une mise en suspension de ces éléments dans les flaques qui commencent à se constituer dès que, localement, $F(t) < I(t)$. On convient de dénommer C_{st} cette charge solide correspondant au stock initial de tous ces éléments mobilisables par réhumectation.
- b) une désagrégation plus ou moins accentuée et générale de la surface du sol du fait de l'impact des gouttes d'eau, leur énergie cinétique étant absorbée dans la dispersion des éléments agrégés. Cet effet doit atteindre un maximum entre t_0 et t_p puis décroît au fur et à mesure que l'énergie des gouttes d'eau se dissipe dans les flaques s'étendant sur des superficies croissantes de parcelle de t_p à t_i . On convient de dénommer C_{sp} cette composante de la turbidité due à l'effet "splash" qui contribue, au même

titre que C_{st} à la diminution de l'intensité d'infiltration. De t_0 à t_i se constitue donc une charge mobilisable :

$$C(t_i \text{ à } t_0) = C_{st} + C_{sp}$$

- 2) Pendant la phase de régime transitoire, de t_i à t_m l'augmentation brutale de $C = f(t)$ jusqu'au pic de turbidité C_s au temps t_{cs} est due à la décharge $C = C_{st} + C_{sp}$ à laquelle s'ajoute une érosion correspondant à l'essai en cours qui consiste en une abrasion des surfaces planes par la lame d'eau en mouvement. Cette érosion en nappe fournit une turbidité C_n et l'on a donc :

$$Q(t_{cs} \text{ à } t_i) = Q_{st} + Q_{sp} + Q_n$$

Le débit solide Q_{st} provenant de la mobilisation du stock initial de sédiments diminue rapidement et s'annule tandis qu'augmente l'intensité du ruissellement.

Le débit Q_{sp} provenant de l'effet splash dépend évidemment du pourcentage de superficie exondée qui est lui-même fonction de la hauteur de détention superficielle D_m . La valeur de la composante Q_{sp} doit donc décroître à mesure que S_m augmente et, à la limite, on conçoit que Q_{sp} puisse pratiquement s'annuler au temps t_i dans le cas d'une parcelle plane (submersion totale). Si la parcelle n'est pas rigoureusement plane Q_{sp} diminue donc entre t_{cs} et t_m tandis que, dans tous les cas, la composante Q_n continue à croître avec l'intensité du ruissellement jusqu'à une valeur :

$$Q_n = C_n \cdot R_x \text{ qui sera caractéristique de la phase suivante.}$$

- 3) A partir du temps t_m s'instaure un régime permanent du ruissellement, caractérisé par l'intensité maximale R_x . De t_m à t_u , on observe un palier de la turbidité C_x auquel correspond un débit solide constant $Q = C_x \cdot R_x$. Du fait de la constance des turbidités, on admet que, pendant cette phase, prédomine l'érosion en nappe, et l'on a alors :

$$Q_n = C_n \cdot R_x$$

- 4) Pendant la phase de vidange ($t_f - t_u$), nous disposons de trop peu de prélèvements pour pouvoir suivre la loi de décroissance de cette portion de courbe des turbidigrammes et nous en restons à l'hypothèse admise précédemment. Il faut cependant souligner que c'est à partir de t_u que va se constituer le stock de sédiments se déposant sur la parcelle sans atteindre le canal : C_{st} . On peut admettre que la diminution de la compétence du courant est une fonction des paramètres caractérisant déjà D_m .

C'est ce premier type de turbidigramme qui a été le plus fréquemment observé pour les essais effectués en Haute-Volta. Voyons, plus succinctement maintenant, quelles sont les principales variantes observées et, en adoptant la même démarche méthodologique, quelles peuvent être les autres hypothèses tendant à expliquer leur tracé.

3.1.2.2. Deuxième type de turbidigramme (mod. ERO 222.1)

On a observé beaucoup, moins fréquemment, le turbidigramme représenté sur la figure 29. On constate, de t_i à t_m , un comportement de la parcelle identique à ce que nous avons vu précédemment (1er type) c'est-à-dire :

- Une augmentation rapide de la turbidité jusqu'à une valeur C_s pendant la phase transitoire du ruissellement,
- Une diminution tout aussi rapide de cette turbidité jusqu'à un palier C_x s'établissant pendant le palier R_x du ruissellement à partir du temps t_m .

On s'écarte ensuite sensiblement du premier type par une nouvelle augmentation importante et soudaine de la turbidité à compter d'un instant t_c , nouveau symbole justifié par ce qui va être développé ultérieurement ; nous ne disposons généralement pas de durée d'averse suffisante pour pouvoir suivre pendant plus de 15 à 20 mn l'évolution de la courbe.

On retrouve donc de t_i à t_c un schéma relativement classique avec, pendant la phase transitoire une conjonction des débits solides Q_{st} , Q_{sp} et Q_n , puis le débit n'est plus alimenté que par l'érosion en nappe de t_m à t_c .

A partir de l'instant t_c l'augmentation du débit solide n'est due qu'à un accroissement brutal de la turbidité puisque l'intensité du ruissellement reste à peu près constante. Il faut admettre, ce qui est conforme aux observations de terrains, que la surface de la parcelle subit un autre type d'érosion que l'érosion en nappe selon les schémas de la figure 29 bis :

- a) Sur les parcelles dans leur état naturel (sol à peu près nu, micro-ondulations très atténuées) on assiste à une accentuation des micro-ondulations, localement certains "arrachages" se produisent en limite des submersions,
- b) Sur les parcelles labourées, planées (labour de référence type WISCHMEIER), après quelques averses, peuvent se créer des chenaux remontant le plus souvent à partir du canal de ruissellement,
- c) Sur ces mêmes parcelles devenues relativement planes par une désagrégation uniforme des mottes vers la fin des essais, on a observé (sur les parcelles de LOUMBILA et de BATANGA) des reprises de l'érosion d'une pellicule de battance constituée lors des averses précédentes de moins forte intensité ; ce processus a également été observé dans le Nord et le Centre de la Côte d'Ivoire.

Cette croissance retardée des turbidités et des débits solides a été observée dans le Sud de la Côte d'Ivoire (C. VALENTIN, 1977) et interprétée comme une érosion par "cisaillement" ayant pour conséquence l'instauration d'un ruissellement **en rigole** (processus "b" de Haute Volta). Bien qu'il ne s'agisse pas systématiquement des mêmes processus ("a" et "c") pour simplifier, nous adopterons les mêmes symboles C_c et Q_c pour désigner respectivement la composante de la turbidité correspondant à cette reprise de l'érosion et la composante du débit solide telle que : $Q_c = C_c \cdot R_x$.

Dans les cas "a" et "b", du fait de cette ablation soudaine de terre au niveau des griffes ou chenaux, la répartition de la détention superficielle mobilisable D_m devient hétérogène et certaines zones peuvent s'exonder ce qui provoque une reprise de l'effet splash d'où une réapparition de Q_{sp} . Aussi de t_c à t_u on aura le débit solide :

$$Q(t_u - t_c) = Q_n + Q_{sp} + Q_c$$

Dans le cas d'une "remobilisation" de la pellicule de battance ("c"), il convient mieux de ne prendre en compte, de t_c à t_u que

$Q(t_u - t_c) = Q_n + Q_c$ en effet, la lame d'eau détenue superficiellement garde à peu près la même épaisseur partout, les entailles se présentant en micro-marches d'escalier non susceptibles de canaliser préférentiellement une partie du ruissellement.

3.1.2.3. Quelques cas particuliers, ou encore, cas dérivés des deux précédents.

Nous présentons maintenant quelques turbidigrammes particuliers pour lesquels les interprétations deviennent extrêmement délicates pour les deux raisons suivantes :

- Nombre insuffisant d'observations pour pouvoir isoler un facteur explicatif.
- Durée insuffisante de l'averse pour que l'on puisse suivre la totalité de l'évolution du débit solide.

- 1) Premier exemple (mod. ERO 613.a.2)

Nous n'avons observé qu'à deux reprises le type de turbidigramme représenté sur la figure 30 : on remarque une évolution classique de types 1 ou 2 de la parcelle pendant la phase de transition du ruissellement suivie de t_1 à t_2 l'établissement d'un pseudo-palier du ruissellement.

Durant ce que l'on peut considérer comme une seconde phase transitoire, les turbidités restent constantes; nous émettons l'hypothèse d'un colmatage progressif des porosités jusqu'à t_2 , car une partie du débit solide abandonné sur place ne parvient pas jusqu'au canal. On assiste à partir de t_2 à l'instauration d'un régime constant du ruissellement avec l'apparition d'un vrai palier R_x cependant que, simultanément, le débit solide chute du fait d'une diminution de la turbidité.

*Note : A la place du terme "érosion par cisaillement" utilisé par l'auteur cité il serait peut-être préférable d'utiliser celui d'"érosion concentrée" (par opposition au processus plus diffus que constitue l'érosion en nappe). On conservera néanmoins la première appellation dans la suite du rapport.

- 2) Deuxième exemple (mod. ERO 613.b.2 et ERO 622.a.1)

Cette diminution du débit solide pendant la phase de régime permanent des ruissellements est parfois plus nette mais, du fait de la trop faible durée de l'averse, il ne nous est pas possible de suivre l'évolution complète de la parcelle ; c'est ce qui apparaît sur le turbidigramme de la figure 31.

On note toujours un pic C de la turbidité pendant la phase transitoire du ruissellement mais il devient impossible de mettre en évidence des paliers de turbidité ; bien au contraire, celle-ci décroît très rapidement pendant la phase du régime permanent du ruissellement (R_x). Dans ce cas de figure, il devient difficile d'admettre un comportement ^xexactement dérivé de celui de parcelles fournissant des turbidigrammes de type 1 ou 2, en supposant que l'averse ait été interrompue trop tôt ; en effet, l'on n'y observe plus les mêmes dépendances d'évolution entre les hydrogrammes et les solidigrammes.

On s'aperçoit dans ces conditions que l'analyse de l'érosion ne peut se faire isolément et qu'il convient de prendre en considération la ou les situations précédentes cet essai, ceci sera l'objet du chapitre V.

3-2 PRESENTATION DES DONNEES DE BASE OBTENUES.

3-2-1 Les tableaux caractéristiques de ruissellement et d'érosion.

Dans les tableaux numérotés de XI à XVIII puis de XIX à XXVI ont été rassemblés par couple de parcelles les principales données résultant respectivement de l'examen des hydrogrammes et des turbidigrammes.

En ce qui concerne le ruissellement on a porté successivement :

- En colonnes 1 à 4 : les rappels des caractéristiques de l'averse (n°, date, intensité moyenne, hauteur totale) déjà définies au paragraphe 2.2.2.,

- En colonnes 5 et 13 : les intensités de ruissellement maximales R_x , les valeurs entre parenthèses correspondant à des essais à la fin desquels le palier de ruissellement n'était pas encore atteint ou pour lesquels des fluctuations de débit notables ont été enregistrées (vent),

- En colonnes 6 et 14 : les intensités minimales d'infiltration, $F_n = I - R_x$ avec les mêmes remarques que ci-dessus au sujet des parenthèses,

- En colonnes 7 et 15 : les valeurs de détention superficielle récupérable D_r obtenues soit directement sur le limnigramme enregistré soit par planimétrage de la portion de courbe correspondante de l'hydrogramme,

- En colonne 8 et 16 : les valeurs de lames ruisselées totales, L (y compris la détention superficielle) déterminées comme ci-dessus, soit directement lorsque cela a été possible (pas de vidange de cuve en cours d'essai), soit par planimétrage,

- En colonnes 9 et 17 : les lames d'eau totales infiltrées obtenues par différence, $W = P_u - L$,

- En colonnes 10 et 11 puis 18 et 19 : les valeurs des lames d'eau cumulées ruisselées et infiltrées depuis le début des essais,

- En colonnes 12 et 20 : les coefficients de ruissellement globaux,

$$K_r = \frac{100 L}{P_u}$$

En ce qui concerne l'érosion, dans les tableaux numérotés de XIX à XXVI, on a porté successivement :

- En colonnes 1 à 4 : les rappels des caractéristiques de l'averse (son numéro, la durée du ressuyage t_a entre deux averses consécutives, l'intensité moyenne de la pluie I en mm/h et sa hauteur totale P_u en mm, symboles déjà définis dans le paragraphe 2.2.2.).

- En colonnes 5 et 9 : les différentes hauteurs de pluies efficaces P_e en mm ayant donné lieu à du ruissellement sur la deuxième parcelle.

Pour faciliter la comparaison entre les différents essais, nous avons généralement retenu les hauteurs de pluies efficaces suivantes : 5 mm, 8 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, ainsi que la hauteur de la pluie efficace totale pour l'essai considéré.

- En colonnes 6 et 10 : les différentes hauteurs de lame ruisselée, cumulée L en mm, obtenues par planimètrage de la portion de courbe de l'hydrogramme correspondant aux différentes hauteurs de pluies efficaces.

Ceci revient à déterminer, au préalable, les durées t_e des pluies efficaces pour pouvoir délimiter l'aire à planimétrer en sachant que $t_e = 60 P_e / I$.

- En colonnes 7 et 11 : les turbidités moyennes C_m en g/l correspondant aux différentes hauteurs de pluie efficace, avec $C_m^* = E / 10 L$.

- En colonnes 8 et 12 : les masses de terre érodée E en kg/ha obtenues par planimètrage de portions de solidigrammes limitées par les durées t_e de pluie P_e .

TABEAU XI CARACTERISTIQUES DE RUISSellement ET D'INFILTRATION SUR LE COUPLE PNT.13

AVERSES				REACTION PARCELLE 1								REACTION PARCELLE 2								
(1):	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	
NO :	DATE :	I :	PU :	RK :	FN :	DR :	L :	W :	SL :	Sw :	KR :	RA :	FN :	DR :	I :	W :	SL :	Sw :	KR :	
		MM/H :	MM :	MM/H :	MM/H :	MM :	MM :	MM :	MM :	MM :	% :	MM/H :	MM/H :	MM :	MM :	MM :	MM :	MM :	MM :	% :
1	27-3-75	59.8	59.8	47.0	12.8	2.0	36.5	23.3	36.5	23.3	61.0	16.0	43.8	0.6	3.9	55.9	3.9	55.9	6.5	
2	28-3-75	60.2	30.1	49.0	11.2	1.8	20.6	9.5	57.1	32.8	68.4	39.0	21.2	1.6	14.4	15.7	18.3	71.6	47.8	
3	28-3-75	61.2	30.6	55.0	6.2	1.9	25.9	4.7	83.0	37.5	84.6	50.5	10.7	1.8	22.5	8.1	40.8	79.7	73.5	
4	28-3-75	59.9	29.4	53.0	6.9	1.9	23.9	6.0	106.9	43.5	79.9	49.7	10.2	1.9	21.8	8.1	62.6	87.8	72.9	
5	28-3-75	61.4	30.7	56.7	4.7	1.9	26.5	4.2	133.4	47.7	86.3	59.0	2.4	2.0	27.6	3.1	90.2	90.4	89.4	
6	29-3-75	59.7	11.3	51.0	8.7	1.7	7.6	3.7	141.0	51.4	67.3	49.0	10.7	1.8	7.6	3.7	47.8	94.6	67.3	
7	29-3-75	59.7	10.0	54.5	5.2	2.3	7.9	2.1	148.9	53.5	79.0	49.5	10.2	1.8	7.9	2.1	105.7	94.7	80.0	
8	29-3-75	59.7	10.0	58.0	1.7	2.2	8.5	1.5	157.4	55.0	85.0	51.0	8.7	1.6	8.0	2.0	113.7	94.7	80.0	
9	29-3-75	57.6	9.6	55.5	2.1	2.1	8.4	1.2	165.8	56.2	87.5	54.5	3.1	1.6	8.3	1.3	122.0	100.0	86.5	
10	29-3-75	59.0	10.2	55.5	3.5	2.2	8.8	1.4	174.6	57.6	86.3	52.0	7.0	1.9	8.4	1.6	130.4	101.8	82.4	
11	29-3-75	57.9	9.7	57.0	0.9	2.1	8.1	1.6	182.7	59.2	83.5	52.3	5.6	2.1	8.4	1.3	138.8	103.1	86.6	
12	29-3-75	59.0	9.8	58.5	0.5	2.2	8.7	1.1	191.4	60.3	86.8	53.5	5.5	1.8	8.0	1.8	146.8	104.9	81.6	
13	29-3-75	58.8	9.8	57.5	1.3	1.9	8.6	1.2	200.0	61.5	87.8	53.5	5.3	1.8	8.3	1.5	155.1	106.4	84.7	
14	29-3-75	58.8	9.8	53.5	5.3	2.0	7.5	2.3	207.5	63.8	76.5	51.6	7.2	1.9	7.7	2.1	162.8	108.5	78.6	
15	29-3-75	60.1	10.0	57.0	3.1	1.9	8.5	1.5	216.0	65.3	85.0	52.7	7.4	2.0	8.4	1.6	171.2	110.1	84.0	
16	29-3-75	60.7	10.1	52.7	8.0	1.8	8.4	1.7	224.4	67.0	83.2	52.7	8.0	1.8	8.3	1.8	179.5	111.9	82.2	
17	29-3-75	59.7	9.9	54.0	5.7	1.8	8.1	1.8	232.5	68.8	81.8	53.5	6.2	2.1	8.4	1.5	187.9	113.4	84.8	
18	1-4-75	60.0	20.0	48.6	11.4	1.6	12.7	7.3	245.2	76.1	63.5	53.5	6.5	1.6	14.0	6.0	201.4	119.4	70.0	
19	1-4-75	60.2	20.1	53.0	7.2	1.7	16.0	4.1	261.2	80.2	79.6	59.5	0.7	1.7	18.9	1.2	220.8	120.6	94.0	
20	1-4-75	58.4	19.5	51.0	7.4	1.7	16.1	3.4	277.3	83.6	82.6	67.0	0.0	1.9	20.3	0.0	241.1	120.6	99.9	
21	1-4-75	59.1	19.7	51.0	8.1	1.8	15.7	4.0	293.0	87.6	79.7	62.0	0.0	1.9	20.0	0.0	261.1	120.6	99.9	
22	1-4-75	29.0	19.3	27.0	2.0	1.2	16.8	2.5	309.8	90.1	87.0	27.5	1.5	1.1	16.9	2.4	278.0	123.0	67.6	
23	1-4-75	58.4	19.5	58.4	0.0	2.1	17.1	2.4	326.9	92.5	87.7	52.2	6.2	1.9	16.3	3.2	294.3	126.2	83.6	
24	1-4-75	82.7	17.9	85.0	0.0	2.7	17.2	0.7	344.1	93.2	96.1	67.0	15.7	2.0	14.6	3.3	308.9	129.5	81.6	
25	1-4-75	113.2	18.9	114.0	0.0	3.4	18.5	0.4	362.6	93.6	97.9	110.0	3.2	3.0	15.6	3.3	324.5	132.8	82.5	
26	2-4-75	61.9	113.4	36.5	25.4	2.7	29.0	84.4	391.6	178.0	25.6	28.0	33.9	2.3	14.0	94.4	343.5	227.2	16.8	

* TRAITEMENTS PARTICULIERS POUR L'averse NO 26: BUTTES CLOISONNEES SUR PARC.1.LABOUR + MULCH SUR PARC.2

Se reporter au texte pour la signification des symboles.

TABLEAU XII CARACTERISTIQUES DE RUISSellement ET D'INFILTRATION SUR LE COUPLE PNT.12

AVERSES				REACTION PARCELLE 1								REACTION PARCELLE 2							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
NO	DATE	I	PU	RX	FN	DR	L	W	SL	SW	KR	RX	FN	DR	I	W	SL	SW	KR
		MM/H	MM	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	%	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	%
1	5-4-75	55.1	14.7"	0.1	55.0	0.0	0.1	14.6	0.1	14.6	0.7	0.0	55.1	0.0	0.0	14.7	0.0	14.7	0.0
2	5-4-75	60.9	60.9"	8.0	52.9	0.4	6.4	54.5	6.5	69.1	10.5	1.5	59.4	0.1	1.1	59.8	1.1	74.5	1.8
3	6-4-75	58.1	29.1"	7.5	50.6	0.3	2.7	26.4	9.2	95.5	9.3	1.5	56.6	0.1	0.6	28.5	1.7	103.0	2.1
4	6-4-75	59.6	30.2"	8.0	51.6	0.3	3.7	26.3	12.9	121.8	12.3	1.5	58.1	0.0	0.7	29.3	2.4	132.3	2.3
5	6-4-75	60.5	30.2"	8.5	52.0	0.3	3.3	26.9	16.2	148.7	10.9	2.0	58.5	0.0	0.6	29.6	3.0	161.9	2.0
6	6-4-75	61.6	30.8"	12.0	49.6	0.4	4.8	26.0	21.0	174.7	15.6	2.0	59.6	0.0	0.9	29.9	3.9	191.8	2.9
7	7-4-75	58.4	9.7"	8.5	49.9	0.3	1.0	8.7	22.0	187.4	10.3	1.5	56.9	0.1	0.1	9.6	4.0	201.4	1.0
8	7-4-75	59.2	9.9"	9.0	50.2	0.4	1.4	8.5	23.4	191.9	14.1	1.5	57.7	0.0	0.2	9.7	4.2	211.1	2.0
9	7-4-75	60.3	10.0"	11.5	48.8	0.5	1.5	8.5	24.9	200.4	15.0	2.0	58.3	0.1	0.2	9.8	4.4	220.9	2.0
10	7-4-75	61.3	20.5"	19.5	41.8	0.8	4.4	16.1	29.3	216.5	21.5	3.0	58.3	0.1	0.6	19.9	5.0	240.8	2.9
11	7-4-75	61.0	20.3"	20.0	41.0	1.0	4.8	15.5	34.1	232.0	23.0	6.5	54.5	0.1	1.0	19.3	6.0	260.1	4.9
12	7-4-75	59.8	19.9"	19.0	40.8	1.1	4.5	15.4	38.6	247.4	22.6	6.0	53.8	0.1	0.9	19.0	6.9	279.1	4.5
13	7-4-75	60.0	30.0"	26.0	34.0	1.3	8.7	21.3	47.3	268.7	29.0	8.7	51.3	0.2	2.4	27.6	9.3	306.7	8.0
14	7-4-75	59.7	29.9"	25.0	34.7	1.4	9.5	20.4	56.8	289.1	31.8	10.5	49.2	0.3	2.7	27.2	12.0	333.9	9.0
15	7-4-75	60.5	30.2"	18.5	42.0	1.0	6.3	23.9	63.1	313.0	20.9	6.0	54.5	0.1	1.4	28.8	13.4	362.7	4.6
16	7-4-75	61.9	31.0"	31.0	30.9	1.9	11.0	20.0	74.1	333.0	35.5	12.0	49.9	0.4	3.0	28.0	16.4	390.7	9.7
17	10-4-75	58.8	19.6"	7.0	51.8	0.3	1.6	18.0	75.7	351.0	8.2	1.2	57.6	0.0	0.2	19.4	16.6	410.1	1.0
18	10-4-75	60.1	20.0"	10.5	49.6	0.5	3.1	16.9	78.8	367.9	15.5	2.0	58.1	0.1	0.5	19.5	17.1	429.6	2.5
19	10-4-75	59.2	19.8"	17.0	42.2	0.8	3.9	15.9	82.7	383.8	19.7	2.2	57.0	0.1	0.8	19.2	17.7	448.8	3.0
20	10-4-75	59.8	19.9"	21.0	38.8	1.3	4.8	15.1	87.5	398.9	24.1	2.5	57.3	0.1	0.6	19.3	18.3	468.1	3.0
21	10-4-75	59.3	19.8"	17.0	42.3	1.2	3.9	15.9	91.4	414.8	19.7	3.0	56.3	0.1	0.7	19.1	19.0	487.2	3.5
22	10-4-75	59.8	19.9"	27.0	32.8	1.6	4.8	15.1	96.2	429.9	24.1	7.0	52.8	0.2	1.0	18.9	20.0	506.1	5.0
23	10-4-75	28.9	19.3"	5.5	23.4	0.4	2.7	16.6	98.9	446.5	14.0	1.1	27.8	***	0.6	18.7	20.6	524.8	3.1
24	10-4-75	60.1	20.0"	16.5	43.6	1.4	4.6	15.4	103.5	461.9	23.0	3.8	56.3	0.1	1.1	18.9	21.7	543.7	5.5
25	10-4-75	84.5	18.3"	51.0	33.5	3.0	7.4	10.9	110.9	472.8	40.4	12.5	72.0	0.3	1.7	16.6	23.4	560.3	9.3
26	10-4-75	114.8	19.1"	70.5	44.3	4.2	8.6	10.5	119.5	483.3	45.0	21.0	93.8	0.6	2.2	16.9	25.6	577.2	11.5
27	11-4-75	60.9	182.7"	6.7	54.2	0.2	8.4	174.3	127.9	657.6	4.6	11.5	49.4	0.5	20.6	162.1	46.2	739.3	11.3

* TRAITEMENTS PARTICULIERS POUR L'AVERSE NO 27: BUTTES CLOISONNEES SUR PARC.1.LABOUR + MULCH SUR PARC.2
 *** VALEUR DE DR INDETERMINEE

Se reporter au texte pour la signification des symboles.

TABLEAU XIII CARACTERISTIQUES DE RUISSELLEMENT ET D'INFILTRATION SUR LE COUPLE PNT.11

AVERSES				REACTION PARCELLE 1								REACTION PARCELLE 2								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	
NO	DATE	I	PU	RX	FN	DR	L	W	SL	SW	KR	HA	FN	DR	I	W	SL	SW	KR	
		MM/H	MM	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	%	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	MM	%
1	13-4-75	59.4	59.4"	43.0	16.4	1.6	37.2	22.2	37.2	22.2	62.6"	2.5	56.9	0.0	1.1	58.3	1.1	58.3	1.9	
2	14-4-75	59.4	9.9"	47.0	12.4	1.6	3.6	6.3	40.8	28.5	36.4"	3.5	55.9	0.1	0.3	9.6	1.4	67.9	3.0	
3	14-4-75	58.9	9.8"	51.0	7.9	1.6	7.1	2.7	47.9	31.2	72.4"	4.5	54.4	0.1	0.6	9.2	2.0	77.1	6.1	
4	14-4-75	59.3	9.9"	51.0	8.3	1.6	7.1	2.8	55.0	34.0	71.7"	5.7	53.6	0.1	0.8	9.1	2.8	86.2	8.1	
5	14-4-75	59.2	9.9"	57.0	2.2	1.9	8.2	1.7	63.2	35.7	82.8"	7.2	52.0	0.1	1.0	8.9	3.8	95.1	10.1	
6	14-4-75	56.1	9.7"	47.0	11.1	2.1	7.7	2.0	70.9	37.7	79.4"	9.5	48.6	0.2	1.3	8.4	5.1	103.5	13.4	
7	14-4-75	57.9	9.7"	57.0	0.4	1.9	8.1	1.6	79.0	34.3	83.5"	12.7	45.2	0.2	1.7	8.0	6.8	111.5	17.5	
8	14-4-75	56.7	9.5"	52.0	4.7	2.0	8.0	1.5	87.0	40.8	84.2"	15.2	41.5	0.3	2.1	7.4	8.4	118.4	22.1	
9	14-4-75	55.7	9.5"	55.5	1.2	1.8	7.2	2.3	94.2	43.1	75.8"	18.0	38.7	0.4	2.5	7.0	11.4	125.9	26.3	
10	14-4-75	57.3	9.5"	53.5	3.8	1.9	8.3	1.2	102.5	44.3	87.4"	21.0	36.3	0.5	2.9	6.6	14.3	132.5	30.5	
11	14-4-75	57.4	9.6"	56.0	1.4	2.3	6.9	2.7	109.4	47.0	71.9"	22.0	35.4	0.6	2.8	6.8	17.1	139.3	29.2	
12	14-4-75	58.8	9.8"	57.5	1.3	2.2	7.7	2.1	117.1	49.1	78.6"	25.5	33.3	0.6	3.4	6.4	20.5	145.7	34.7	
13	14-4-75	59.6	9.9"	56.5	3.1	2.3	7.9	2.0	125.0	51.1	79.8"	27.5	32.1	0.6	3.9	6.0	24.4	151.7	39.4	
14	14-4-75	59.4	9.9"	58.0	1.4	2.4	8.7	1.2	133.7	52.3	87.9"	30.0	29.4	0.6	4.0	5.9	28.4	157.6	40.4	
15	15-4-75	26.9	19.2"	23.0	5.9	1.2	13.2	6.0	146.9	58.3	68.7"	13.5	15.4	0.4	7.1	12.1	35.5	169.7	37.0	
16	15-4-75	57.9	18.9"	44.0	13.9	1.6	14.4	4.5	161.3	62.8	76.2"	31.5	26.4	0.7	9.9	9.0	45.4	178.7	52.4	
17	15-4-75	80.4	17.4"	71.5	6.9	2.2	13.7	3.7	175.0	66.6	76.7"	46.5	33.9	1.1	9.5	7.9	54.9	186.6	54.6	
18	15-4-75	103.2	18.8"	92.5	10.7	2.5	14.2	4.6	189.2	71.1	75.5"	68.0	35.2	1.2	10.1	8.7	65.0	195.3	53.7	

Se reporter au texte pour la signification des symboles.

TABLEAU XIV CARACTERISTIQUES DE RUISSELLEMENT ET D'INFILTRATION SUR LE COUPLE SPO.21

AVERSES				REACTION PARCELLE 1								REACTION PARCELLE 2								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	
NO	DATE	I	PU	RX	FN	DR	L	w	SL	SW	KR	RA	FN	DR	I	w	SL	SW	KR	
		MM/H	MM	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	%	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	MM	%
1	18-4-75	60.3	60.3"	33.5	26.8	0.8	25.2	35.1	25.2	35.1	41.8"	13.0	47.3	***	5.2	55.1	5.2	55.1	8.6	
2	19-4-75	58.1	9.7"	35.0	23.1	0.8	2.9	6.8	28.1	41.9	29.9"	15.0	43.1	0.3	1.2	8.5	6.4	63.6	12.4	
3	19-4-75	58.6	9.8"	44.5	14.1	1.1	5.4	4.4	33.5	46.3	55.1"	25.0	33.6	0.5	2.4	7.4	8.8	71.0	24.5	
4	19-4-75	53.3	8.9"	44.5	8.8	1.4	6.1	2.8	39.6	49.1	68.5"	29.5	23.8	0.8	3.2	5.7	12.0	76.7	36.0	
5	19-4-75	53.7	8.9"	46.5	7.2	1.4	6.3	2.6	45.9	51.7	70.8"	33.0	20.7	0.9	3.9	5.0	15.9	81.7	43.8	
6	19-4-75	55.1	9.2"	50.0	5.1	1.3	6.1	3.1	52.0	54.8	66.3"	37.5	17.6	1.0	4.4	4.8	20.3	86.5	47.8	
7	19-4-75	56.7	9.5"	50.0	6.7	1.5	6.8	2.7	58.6	57.5	71.0"	36.0	20.7	1.0	4.8	4.7	25.1	91.2	50.5	
8	19-4-75	55.9	9.3"	50.0	5.9	1.4	6.6	2.7	65.4	60.2	71.0"	43.0	12.9	1.3	5.3	4.0	30.4	95.2	57.0	
9	19-4-75	53.9	9.0"	44.5	9.4	1.2	5.6	3.4	71.0	63.6	62.2"	42.5	11.4	1.1	5.1	3.9	35.5	99.1	56.7	
10	19-4-75	57.6	9.6"	47.0	10.6	1.5	6.5	3.1	77.5	66.7	67.7"	42.5	15.1	1.2	5.7	3.9	41.2	103.0	59.4	
11	19-4-75	59.3	9.9"	46.0	13.3	1.4	5.2	4.7	82.7	71.4	52.5"	45.0	14.3	1.0	5.7	4.2	46.9	107.2	57.6	
12	19-4-75	59.0	9.8"	46.5	12.5	1.2	5.8	4.0	88.5	75.4	59.2"	48.0	11.0	1.1	6.5	3.3	53.4	110.5	66.3	
13	19-4-75	59.3	9.9"	49.5	9.8	1.2	6.1	3.8	94.6	79.2	61.6"	47.5	11.8	1.5	6.7	3.2	60.1	113.7	67.7	
14	19-4-75	61.0	10.2"	51.0	10.0	1.5	6.3	3.9	100.9	83.1	61.8"	47.0	14.0	1.1	6.8	3.4	66.9	117.1	66.7	
15	20-4-75	30.4	20.3"	18.0	12.4	0.6	8.8	11.5	109.7	94.6	43.3"	22.0	8.4	0.6	12.8	7.5	79.7	124.6	63.1	
16	20-4-75	74.0	24.6"	47.5	26.5	1.3	13.0	11.6	122.7	106.2	52.8"	67.5	6.5	1.0	20.8	3.8	100.5	128.4	84.6	
17	20-4-75	90.5	19.6"	64.5	26.0	2.5	12.6	7.0	135.3	113.2	64.3"	82.5	8.0	2.0	16.4	3.2	116.9	131.6	83.7	
18	20-4-75	120.6	20.1"	96.5	24.1	2.3	13.9	6.2	149.2	119.4	69.2"	113.5	7.1	2.3	15.6	4.5	132.5	136.1	77.6	

*** VALEUR DE DR INDEFINIE

Se reporter au texte pour la signification des symboles.

TARLEAU XV CARACTERISTIQUES DE RUISSELLEMENT ET D'INFILTRATION SUR LE COUPLE SPO.22

AVERSES				REACTION PARCELLE 1								REACTION PARCELLE 2								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	
NO	DATE	I	PU	RX	FN	DR	L	w	SL	Sw	KR	RX	FN	DR	I	w	SL	Sw	KR	
		MM/H	MM	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	%	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	MM	%
1	22-4-75	59.9	59.9	45.5	14.4	1.2	32.2	27.7	32.2	27.7	53.8	3.5	56.4	0.1	1.6	58.3	1.6	58.3	2.7	
2	23-4-75	56.8	28.4	50.0	6.8	1.0	21.0	7.4	53.2	35.1	73.9	9.5	47.3	0.1	3.0	25.4	4.6	83.7	10.6	
3	23-4-75	57.8	26.9	52.0	5.8	1.0	24.8	4.1	78.0	39.2	85.8	11.5	46.3	0.2	5.0	23.9	9.6	107.6	17.3	
4	23-4-75	(58.5)	29.2	51.0	(7.5)	1.3	23.6	5.6	101.8	44.8	80.8	(26.5)	(32.0)	0.5	9.1	20.1	18.7	127.7	31.2	
5	23-4-75	60.9	30.5	55.5	5.4	1.0	26.4	4.1	128.0	48.9	86.6	(39.0)	(21.9)	0.8	16.2	14.3	34.4	142.0	53.1	
6	24-4-75	59.0	9.8	43.5	15.5	1.0	6.2	3.6	134.2	52.5	63.3	35.0	24.0	0.8	4.6	5.2	34.5	147.2	46.9	
7	24-4-75	59.7	10.0	44.5	15.2	1.0	6.9	3.1	141.1	55.6	69.0	43.0	16.7	0.8	6.0	4.0	45.5	151.2	60.0	
8	24-4-75	59.9	10.0	45.5	14.4	1.0	6.8	3.2	147.9	58.8	68.0	47.5	12.4	0.7	6.2	3.8	51.7	155.0	62.0	
9	24-4-75	28.7	9.6	21.5	7.2	0.6	6.1	3.5	154.0	62.3	63.5	15.0	13.7	0.2	4.1	5.5	55.8	160.5	42.7	
10	24-4-75	29.6	9.9	23.0	6.6	0.5	6.8	3.1	160.8	65.4	68.7	17.5	12.1	0.4	5.2	4.7	61.0	165.2	52.5	
11	24-4-75	28.4	11.8	22.5	5.9	0.6	9.0	2.8	169.8	68.2	76.3	21.0	7.4	0.6	7.7	4.1	68.7	169.3	65.3	
12	24-4-75	58.5	9.8	49.0	9.5	1.0	7.1	2.7	176.9	70.9	72.4	47.0	11.5	1.0	6.7	3.1	75.4	172.4	68.4	
13	24-4-75	60.4	10.1	49.0	11.4	1.1	7.5	2.6	184.4	73.5	74.3	46.0	14.4	0.9	6.8	3.3	82.2	175.7	67.3	
14	27-4-75	(59.6)	19.9	(60.0)	(0.0)	1.1	16.6	3.3	201.0	76.8	83.4	42.5	(17.1)	0.7	11.5	8.4	93.7	184.1	57.8	
15	27-4-75	62.5	20.8	54.5	8.0	1.0	16.9	3.9	217.9	80.7	81.2	44.0	18.5	0.8	13.6	7.2	107.3	191.3	65.4	
16	27-4-75	59.8	19.9	52.0	7.8	1.0	16.6	3.3	234.5	84.0	83.4	43.5	16.3	0.9	13.3	6.6	120.6	197.9	66.8	
17	27-4-75	28.8	19.2	22.5	6.3	0.5	13.4	5.8	247.9	89.8	89.8	21.5	7.3	0.5	12.6	6.6	133.2	204.5	65.6	
18	27-4-75	58.8	19.6	50.0	8.8	0.9	16.6	3.0	264.5	92.8	84.7	(47.5)	(11.3)	0.8	14.9	4.7	148.1	209.2	76.0	
19	27-4-75	88.2	19.1	78.0	10.2	1.3	15.9	3.2	280.4	96.0	83.2	74.0	14.2	1.2	15.6	3.5	163.7	212.7	81.7	
20	27-4-75	122.2	20.4	108.5	13.7	1.7	17.1	3.3	297.5	99.3	83.8	(111.5)	(10.7)	1.7	16.3	4.1	180.0	216.8	79.9	
21	29-4-75	92.2	38.4	84.5	7.7	1.1	32.4	6.0	329.9	105.3	84.4	66.0	26.2	1.1	12.0	26.4	192.0	243.2	31.3	

* TRAITEMENTS PARTICULIERS POUR L'AVERSE NO 21: PARCELLE NO 2 LABOUREE A NOUVEAU

Se reporter au texte pour la signification des symboles.

TABLEAU XVI CARACTERISTIQUES DE RUISSELLEMENT ET D'INFILTRATION SUR LE COUPLE RTG.31

AVERSES				REACTION PARCELLE 1								REACTION PARCELLE 2								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	
NO	DATE	I	PU	RX	FN	DR	L	W	SL	SW	KR	RA	FN	DR	I	W	SL	SW	KR	
		MM/H	MM	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	%	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	MM	*
# 1	5-5-75	91.6	61.1"	66.0	25.6	3.3	26.8	34.3	26.8	34.3	43.9"	65.0	26.6	3.6	14.8	46.3	14.8	46.3	24.2	
2	6-5-75	55.4	9.2"	(3.0)	(52.4)	0.1	0.5	8.7	27.3	43.0	5.4"	(3.0)	(52.4)	0.0	0.4	8.8	15.2	55.1	4.3	
3	6-5-75	60.1	10.0"	33.0	27.1	1.6	3.3	6.7	30.6	49.7	33.0"	18.5	41.6	1.2	2.3	7.7	17.5	62.8	23.0	
4	6-5-75	57.5	9.6"	45.0	12.5	2.3	6.8	2.8	37.4	52.5	70.6"	(38.0)	(19.5)	2.7	6.5	3.1	24.0	65.9	67.7	
5	6-5-75	63.1	10.5"	37.5	25.6	2.2	3.7	6.8	41.1	59.3	35.2"	14.0	49.1	0.7	1.5	9.0	25.5	74.9	14.3	
6	6-5-75	60.1	10.0"	56.0	4.1	3.2	8.2	1.8	49.3	61.1	82.0"	44.5	15.6	2.9	5.8	4.2	31.3	79.1	58.0	
7	6-5-75	60.5	10.1"	55.5	5.0	3.4	8.2	1.4	58.0	62.5	86.1"	44.5	16.0	3.5	7.5	2.6	38.8	81.7	74.3	
8	6-5-75	59.7	9.9"	55.5	4.2	3.4	8.6	1.3	66.0	63.8	86.9"	48.5	11.2	3.2	7.2	2.7	46.0	84.4	72.7	
9	7-5-75	31.2	20.8"	28.0	3.2	1.6	10.7	10.1	77.3	73.9	51.4"	23.0	8.2	1.6	7.8	13.0	53.8	97.4	37.5	
10	7-5-75	58.8	19.6"	57.0	1.8	3.5	16.3	3.3	93.6	77.2	83.2"	(52.0)	(6.8)	3.3	14.4	5.2	68.2	102.6	73.5	
11	7-5-75	86.8	18.8"	(92.0)	(0.0)	4.7	18.2	0.6	111.6	77.8	96.8"	(76.0)	(10.8)	5.0	16.0	2.8	84.2	105.4	85.1	
12	7-5-75	115.6	19.2"	(120.0)	(0.0)	5.6	17.5	1.7	129.3	79.5	91.1"	(103.0)	(12.5)	5.3	15.6	3.6	99.8	109.0	81.3	

* TRAITEMENTS PARTICULIERS POUR L'AVERSE NO 1: ASPERSION PREALABLE DES PARCELLES PLUSIEURS JOURS DURANT

Se reporter au texte pour la signification des symboles.

TABLEAU XVII CARACTERISTIQUES DE RUISSELLEMENT ET D'INFILTRATION SUR LE COUPLE HTR.32

AVERSES				REACTION PARCELLE 1								REACTION PARCELLE 2							
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)
NO	DATE	I	PU	RX	FN	DR	L	w	SL	SW	KR	RA	FN	DR	I	w	SL	SW	KR
		MM/H	MM	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	%	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	%
1	5-5-75	94.7	94.7"	14.5	80.2	0.6	11.0	83.7	11.0	83.7	11.0"	7.0	87.7	0.1	3.1	91.6	3.1	91.6	3.3
2	10-5-75	63.1	31.5"	10.0	53.1	0.5	4.1	27.4	15.1	111.1	13.0"	8.0	55.1	0.2	2.5	29.0	5.6	120.6	7.9
3	10-5-75	62.7	31.3"	16.5	46.2	0.8	6.5	24.8	21.6	135.9	20.8"	10.0	52.7	0.3	4.2	27.1	9.8	147.7	13.4
4	10-5-75	60.1	30.1"	19.0	41.1	1.0	6.6	23.5	28.2	159.4	21.9"	15.0	45.1	0.5	5.6	24.5	15.4	172.2	18.6
5	10-5-75	59.1	29.5"	19.0	40.1	1.2	9.0	20.5	37.2	179.9	30.5"	17.0	42.1	0.6	8.4	21.1	23.8	199.3	28.5
6	12-5-75	54.1	9.0"	4.0	50.1	0.3	0.7	8.3	37.9	188.2	7.8"	6.0	48.1	0.3	0.6	8.4	24.4	201.7	6.7
7	12-5-75	55.1	9.2"	11.0	44.1	0.7	1.3	7.9	39.2	196.1	14.1"	7.0	48.1	0.4	1.1	8.1	25.5	209.8	12.0
8	12-5-75	56.1	9.3"	10.5	45.6	1.0	1.9	7.4	41.1	203.5	20.4"	10.0	46.1	0.6	1.6	7.7	27.1	217.5	17.2
9	12-5-75	54.0	9.8"	14.5	39.5	1.2	2.1	6.9	43.2	210.4	23.3"	10.0	44.0	0.6	1.5	7.5	28.6	225.0	16.7
10	12-5-75	55.6	9.3"	20.0	35.6	1.4	2.3	7.0	45.5	217.4	24.7"	11.5	44.1	0.8	1.8	7.5	30.4	232.5	19.4
11	12-5-75	54.6	9.1"	18.5	36.1	1.8	2.8	6.3	48.3	223.7	30.8"	9.5	45.1	0.8	1.8	7.3	32.2	239.8	19.8
12	12-5-75	54.6	9.1"	17.5	37.1	2.6	3.6	5.5	51.9	229.2	39.6"	14.0	40.6	1.2	2.5	6.6	34.7	246.4	27.5
13	12-5-75	57.4	9.6"	27.0	30.4	3.6	5.0	4.6	56.9	233.8	52.1"	17.0	40.4	1.6	3.1	6.5	37.8	252.9	32.3
14	15-5-75	58.2	19.4"	9.5	48.7	0.5	1.6	17.8	58.5	251.6	8.2"	18.0	40.2	1.1	3.8	15.6	41.6	268.5	19.6
15	15-5-75	58.9	19.6"	39.5	19.4	3.7	8.0	11.6	66.5	263.2	40.8"	41.5	17.4	2.2	10.8	8.8	52.4	277.3	55.1
16	15-5-75	58.0	19.3"	52.0	6.0	4.5	13.6	5.7	80.1	268.9	70.5"	50.0	8.0	2.8	12.4	6.9	64.8	284.2	64.2
17	15-5-75	58.4	19.5"	56.5	1.9	4.9	14.8	4.7	94.9	273.6	75.9"	49.0	9.4	2.8	13.8	5.7	78.6	289.9	70.8
18	15-5-75	29.1	19.4"	14.0	15.1	2.5	5.5	13.9	100.4	287.5	28.4"	25.5	3.6	1.9	13.0	6.4	91.6	296.3	67.0
19	15-5-75	58.3	19.4"	52.0	6.3	4.9	13.3	6.1	113.7	293.6	68.6"	54.5	3.8	3.6	16.3	3.1	107.9	299.4	84.0
20	15-5-75	90.7	19.6"	67.5	23.2	6.1	13.8	5.8	127.5	299.4	70.4"	82.5	8.2	4.0	16.1	3.5	124.0	302.9	82.1
21	16-5-75	93.4	93.4"	70.0	23.4	6.9	25.6	67.8	153.1	367.2	27.4"	93.4	0.0	7.1	20.7	72.7	144.7	375.6	22.2

* TRAITEMENTS PARTICULIERS POUR L'AVERSE NO 21: BUTTAGE CLOISONNE SUR PARC.1.LABOUR + PAILLIS SUR PARC.2

Se reporter au texte pour la signification des symboles.

TABEAU XVIII CARACTERISTIQUES DE RUISSELLEMENT ET D'INFILTRATION SUR LE COUPLE LRA.41

A V E R S E S				R E A C T I O N P A R C E L L E 1								R E A C T I O N P A R C E L L E 2								
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)	(19)	(20)	
NO	DATE	I	PU	RX	FN	DR	L	W	SL	SW	KR	RX	FN	DR	I	W	SL	SW	KR	
		MM/H	MM	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	%	MM/H	MM/H	MM	MM	MM	MM	MM	MM	%
1	22-5-75	60.9	60.9"	49.0	11.9	1.2	37.8	23.1	37.8	23.1	62.10	1.6	59.3	0.0	0.7	60.2	0.7	60.2	1.1	
2	23-5-75	59.7	29.9"	50.0	9.7	1.2	19.2	10.7	57.0	33.8	64.20	23.5	36.2	0.6	4.5	25.4	5.2	65.6	15.1	
3	23-5-75	62.0	31.0"	48.0	14.0	1.5	22.2	8.8	74.2	42.6	71.60	32.5	29.5	1.0	13.3	17.7	18.5	103.3	42.9	
4	23-5-75	64.9	31.9"	54.0	10.9	1.6	24.0	7.9	103.2	50.5	75.20	37.0	27.9	1.4	13.7	18.2	32.2	121.5	42.9	
5	23-5-75	64.8	32.4"	57.0	7.8	1.7	27.0	5.4	130.2	55.9	83.30	39.0	25.8	1.6	17.1	15.3	49.3	136.8	52.8	
6	24-5-75	59.8	10.0"	50.5	9.3	1.4	6.9	3.1	137.1	59.0	69.00	30.0	29.8	1.3	2.7	7.3	52.0	144.1	27.0	
7	24-5-75	60.2	10.0"	55.0	5.2	1.6	8.0	2.0	145.1	61.0	80.00	45.0	15.2	1.5	5.2	4.8	57.2	148.9	52.0	
8	24-5-75	59.7	10.0"	54.0	5.7	1.5	7.5	2.5	152.6	63.5	75.00	48.0	11.7	1.5	5.8	4.2	63.0	153.1	58.0	
9	24-5-75	61.5	10.2"	53.0	8.5	1.6	7.6	2.6	160.2	65.1	74.50	48.5	13.0	1.6	5.6	4.6	68.6	157.7	54.9	
10	24-5-75	58.7	9.8"	46.0	12.7	0.9	5.3	4.5	165.5	70.6	54.10	41.0	17.7	1.5	3.8	6.0	72.4	163.7	38.8	
11	24-5-75	59.8	10.0"	48.5	11.3	1.5	6.7	3.3	172.2	73.9	67.00	41.0	18.8	1.7	4.6	5.4	77.0	169.1	46.0	
12	24-5-75	61.4	10.2"	55.0	6.4	1.3	6.7	3.5	178.9	77.4	65.70	43.0	18.4	1.8	4.9	5.3	81.9	174.4	48.0	
13	24-5-75	59.7	9.9"	50.0	9.7	1.6	6.6	3.3	185.5	80.7	66.70	40.0	19.7	1.8	4.9	5.0	86.8	179.4	49.5	
14	27-5-75	59.5	19.8"	50.0	9.5	1.1	9.8	10.0	195.3	90.7	49.50	37.0	22.5	1.2	7.9	11.9	94.7	191.3	39.9	
15	27-5-75	60.1	20.0"	52.0	8.1	1.4	15.2	4.8	210.3	95.5	76.00	42.0	18.1	1.4	12.0	8.0	106.7	199.3	60.0	
16	27-5-75	61.6	20.5"	50.0	11.6	1.4	15.0	5.5	225.5	101.0	73.20	46.0	15.6	1.5	13.2	7.3	119.9	206.6	64.4	
17	27-5-75	31.2	20.8"	21.0	10.2	0.9	11.0	9.8	236.3	110.8	52.90	22.0	9.2	0.9	10.8	10.0	130.7	216.6	51.9	
18	27-5-75	59.3	19.8"	49.5	9.8	1.4	14.6	5.2	251.1	116.0	73.70	50.0	9.3	1.7	15.3	4.5	146.0	221.1	77.3	
19	27-5-75	48.4	19.1"	84.0	4.4	2.4	16.4	2.7	267.5	118.7	65.90	80.5	7.9	2.4	15.3	3.8	161.3	224.9	80.1	
20	27-5-75	120.5	20.1"	109.0	11.5	2.5	16.5	3.6	284.0	122.3	82.10	90.0	30.5	2.5	14.0	6.1	175.3	231.0	69.7	
*21	28-5-75	62.4	111.9"	11.2	51.2	0.5	9.3	102.6	293.3	224.9	8.30	0.2	62.2	0.0	0.5	111.4	175.8	342.4	0.4	

* TRAITEMENTS PARTICULIERS POUR L'AVERSIF NO 21: BUTTAGE CLOISONNE SUR PARC.1.LABOUR + PAILLIS SUR PARC.2

TABLEAU XIX CARACTERISTIQUES DE L'EROSION SUR PNI 13.

AVERSE				REACTION PARCELLE 1				REACTION PARCELLE 2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N°	ta	I mm/h	Pu mm	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha
1	∞	59,8	59,8	5 8*10 15*20 51,4	0,3 2,4 9,9 36,5	6,9 5,3 4,2 3,3	19 126 417 1210	5 8*10 15*20 44,3	- 0,1 0,3 3,9	- - 1,8 3,2	- - 6 126
2	23H00	60,2	30,1	5 8*10 15*20 27,6	1,1 4,6 14,2 20,6	4,9 3,5 3,3 3,0	52 163 458 626	5 8*10 15*20 27,3	0,7 2,3 8,2 14,4	3,2 4,8 4,8 6,1	24 111 393 877
3	OH19	61,2	30,6	5 8*10 15*20 29,4	2,2 6,3 15,7 25,9	4,8 4,4 3,8 3,4	105 280 597 887	5 8*10 15*20 29,4	1,5 5,0 13,0 22,5	5,9 5,1 4,2 3,7	91 252 547 843
4	7H02	59,9	29,9	5 8*10 15*20 27,9	1,8 5,6 13,9 23,9	4,7 4,1 3,5 3,1	81 229 487 733	5 8*10 15*20 28,0	1,7 5,3 13,3 21,8	4,4 3,8 3,5 3,1	76 202 463 687
5	OH16	61,4	30,7	5 8*10 15*20 29,5	2,6 6,8 15,9 26,5	3,4 3,1 2,8 2,6	87 212 452 686	5 8*10 15*20 29,6	2,5 6,7 15,9 27,6	3,7 3,3 3,0 2,7	95 226 484 756
14	3H15	58,8	9,8	5 8*10 8,3	2,0 4,7 7,5	2,5 2,2 1,5	48 104 115	5 8*10 8,5	2,8 5,3 7,7	3,0 2,8 2,1	87 151 159
17	OH40	59,7	9,9	5 8*10 8,7	2,8 5,4 8,1	2,4 2,3 1,7	68 128 142	5 8*10 8,9	2,9 5,5 8,4	2,6 2,4 1,7	76 131 142
22	3H45	29,0	19,3	5 8*10 15 17,8	3,4 7,9 12,8 16,8	1,6 1,6 1,5 1,4	54 131 197 236	5 8*10 15 18,3	4,1 7,8 13,3 16,9	2,7 3,2 2,9 2,7	109 252 380 457
23	OH30	58,4	19,5	5 8*10 15 17,7	2,8 7,3 12,3 17,1	2,4 2,2 2,0 1,7	67 164 247 287	5 8*10 15 18,4	2,9 7,2 11,7 16,3	5,6 3,2 4,3 3,5	163 229 499 573
24	OH30	82,7	17,9	5 8*10 15 16,2	0,3 7,9 13,2 17,2	1,4 2,3 2,5 2,1	42 184 333 368	5 8*10 15 16,8	2,9 7,8 11,2 14,6	4,0 4,2 4,8 4,0	114 333 534 589

Se reporter au texte pour la signification des observations.

.../...

TABLEAU XIX (suite) PNI 13.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25	OH30	115,2	18,9	5	2,7	4,0	108	5	3,5	4,5	159
				8 10	8,4	2,6	220	8 10	5,6	4,7	262
				15 20	13,0	2,6	346	15 20	10,5	5,0	528
				16,7	18,5	2,0	378	17,4	15,6	4,1	639
26	17H00	61,9	115,4	5	0,1	11,2	9	5	0,1	-	-
				8 10	0,2	9,2	25	8 10	0,3	2,1	7
				15 20	0,5	7,8	42	15 20	0,6	3,3	21
				93,3	29,0	5,8	1683	92,9	19,0	2,2	415

TABLEAU XX CARACTERISTIQUES DE L'EROSION SUR PNI 12.

AVERSES				REACTION PARCELLE 1				REACTION PARCELLE 2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N°	ta	I mm/h	Pu mm	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha
2	∞	60,9	60,9	5	0,2	0,6	1	5	-	-	-
				10	0,7	0,8	5	10	0,1	-	-
				20	1,7	0,7	12	20	0,3	-	-
				57,4	6,4	0,6	38	54,1	1,2	-	-
3	20H14	58,1	29,1	5	0,2	0,7	2	5	0,1	-	-
				10	0,7	0,6	4	10	0,2	-	-
				20	1,8	0,4	7	20	0,4	-	-
				24,5	2,7	0,4	10	23,6	0,6	-	-
4	OH15	59,6	30,0	5	0,2	0,8	2	5	0,1	1,5	2
				10	1,0	0,4	4	10	0,2	2,3	5
				20	2,0	0,4	8	20	0,5	2,0	11
				27,8	3,7	0,3	11	26,0	0,7	2,1	15
5	7H00	60,5	30,2	5	0,2	0,2	1	5	0,1	0,7	-
				10	0,8	0,5	4	10	0,2	0,5	1
				20	2,1	0,3	6	20	0,4	0,4	1
				26,1	3,3	0,2	8	25,4	0,7	0,4	2
6	OH15	61,6	30,8	5	0,6	0,4	2	5	0,1	-	-
				10	0,9	0,6	5	10	0,2	0,1	-
				20	2,6	0,3	9	20	0,6	0,3	-
				28,4	4,8	0,3	14	26,8	0,9	-	-
16	OH40	61,9	31,0	5	0,5	0,2	1	5	0,1	0,6	1
				10	1,5	0,2	3	10	0,3	0,4	1
				20	5,1	0,2	10	20	1,2	0,3	4
				28,8	11,0	0,2	20	28,1	3,0	0,2	6
23	3H15	28,9	19,3	5	0,4	0,2	1	5	0,7	0,2	-
				10	1,1	0,2	2	10	0,3	0,2	-
				16,1	2,8	0,1	4	15,9	0,5	0,5	-

TABLEAU XX (suite) PNI 12.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
24	OH30	60,1	20,0	5 10 17,2	0,2 1,7 4,9	0,6 0,2 0,1	1 4 7	5 10 17,1	0,1 0,2 1,1	0,2 0,3 0,1	- - 1
25	OH30	84,5	18,3	5 10 16,0	0,4 1,5 7,7	0,3 0,2 0,1	1 3 12	5 10 15,0	0,2 0,6 1,6	0,1 0,2 0,5	1 1 8
26	OH30	114,8	19,1	5 10 16,7	0,4 1,6 8,3	0,4 0,2 0,1	1 3 6	5 10 15,9	0,2 0,6 2,3	0,2 0,2 0,2	- 1 4
27	15H13	60,9	182,7	40 80 160 169,9	- 0,9 6,7 8,4	- 1,8 2,0 2,1	- 16 135 180	40 80 160 166,2	0,6 4,3 18,8 20,6	0,8 1,2 0,7 0,6	5 52 127 135

TABLEAU XXI CARACTERISTIQUES DE L'EROSION SUR PNI 11.

AVERSES				REACTION PARCELLE 1				REACTION PARCELLE 2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N°	ta	I mm/h	Pu mm	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha
1	∞	59,4	59,4	5 10 20 54	1,4 4,2 11,0 37,2	1,4 1,9 0,8 0,5	20 78 85 200	5 10 20 44,6	- 0,1 0,3 1,2	3,0 2,0 1,5 1,9	- 1 4 24
2	22H40	59,4	9,9	5 5,7	1,8 3,6	0,4 0,5	8 19	5 6,0	0,2 0,3	3,2 3,3	5 10
9	OH21	56,7	9,5	5 8 8,2	2,7 5,3 7,2	0,3 0,3 0,2	7 14 17	5 8 8,1	1,0 2,0 2,5	2,5 2,8 2,5	26 57 62
15	14H50	28,9	19,2	5 10 16,7	2,7 6,7 13,2	0,1 0,3 0,3	3 20 39	5 10 18,1	1,2 3,2 7,1	2,7 2,5 2,8	33 81 200
16	OH40	57,9	18,9	5 10 17,3	2,4 6,7 14,4	0,2 0,2 0,2	4 16 31	5 10 16,7	2,6 5,5 9,9	3,4 2,9 2,6	87 160 255
17	OH30	80,4	17,4	5 10 15,8	2,1 6,2 13,6	0,6 0,6 0,5	12 38 63	5 10 15,5	2,2 5,0 9,5	4,0 3,6 3,2	86 178 306
18	OH30	103,2	18,8	5 10 16,9	1,8 6,0 14,2	0,7 0,6 0,4	14 35 60	5 10 16,8	1,7 4,7 10,1	3,4 2,8 2,3	57 134 237

TABLEAU XXII CARACTERISTIQUES DE L'EROSION SUR SPO 21.

AVERSES.				REACTION PARCELLE 1				REACTION PARCELLE 2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N°	ta	I mm/h	Pu mm	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha
1	∞	60,3	60,3	5	0,9	2,7	23	5	-	7,5	1
				10	2,6	2,2	56	10	0,1	5,0	4
				20	7,2	2,2	160	20	0,3	4,1	14
				51,8	25,2	1,9	478	45,0	5,2	2,6	138
3	OH20	58,6	9,8	5	1,9	1,4	27	5	1,0	3,9	41
				7,0	5,4	1,0	57	7,3	2,4	3,7	90
10	OH20	57,6	9,6	5	3,0	0,2	6	5	2,3	1,6	37
				7,3	6,5	0,2	15	7,8	5,7	2,2	123
11	2h55	59,3	9,9	5	2,0	1,8	37	5	2,6	4,2	110
				7,5	5,2	1,9	97	8,1	5,7	3,6	207
14	Oh40	61,0	10,2	5	2,4	0,9	22	5	2,8	2,3	66
				8	4,6	0,6	30	8	5,3	2,7	146
				8,1	6,3	0,7	42	8,6	6,8	2,5	172
15	14H15	30,4	20,3	5	1,7	0,9	17	5	2,5	1,9	48
				10	4,1	0,6	25	10	6,0	2,4	142
				15	6,9	0,6	44	15	9,7	2,2	214
				16,8	8,8	0,5	45	18,7	12,8	2,1	270
16	OH40	74,0	24,6	5	2,9	1,9	54	5	2,9	2,9	84
				10	6,3	1,1	69	10	6,8	3,7	253
				20	-	-	-	20	14,4	3,6	521
				21,4	13,0	0,6	82	22,2	20,8	3,3	691
17	OH40	90,5	19,6	5	2,3	0,5	12	5	3,7	3,5	133
				10	5,8	0,5	32	10	7,7	4,2	324
				16,9	12,6	0,6	70	17,8	16,4	4,1	675
18	OH40	120,6	20,1	5	2,0	2,1	41	5	2,0	4,2	83
				10	5,3	1,3	71	10	5,9	4,6	275
				17,7	13,9	0,7	96	18,2	15,6	5,6	873

TABLEAU XXIII CARACTERISTIQUES DE L'EROSION SUR SPO 22.

AVERSES.				REACTION PARCELLE 1				REACTION PARCELLE 2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N°	ta	I mm/h	Pu mm	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha
1	∞	59,9	59,9	5 10 20 47,8	0,9 3,9 10,5 32,2	7,0 5,2 4,2 3,0	65 202 440 992	5 10 20 41,1	- 0,2 0,4 1,6	- 0,6 1,8 2,3	- 1 7 37
2	21H46	56,8	28,4	5 10 20 26,8	1,3 5,4 13,9 21,0	2,2 2,9 3,0 2,8	30 155 417 580	5 10 20 25,8	0,2 0,6 1,8 3,0	2,4 4,3 4,2 4,7	6 27 75 142
3	OH17	57,8	28,9	5 10 20 27,6	3,6 8,1 16,9 24,8	2,6 2,6 2,6 2,4	92 211 445 592	5 10 20 27,7	0,5 1,4 3,2 5,0	5,7 8,0 8,1 7,2	29 113 262 360
4	6H26	58,5	29,2	5 10 20 27,6	2,5 7,0 15,8 23,6	3,8 4,3 4,1 3,6	93 301 648 840	5 10 20 27,6	0,3 1,8 5,0 9,1	5,5 4,3 6,1 6,5	18 75 307 595
5	OH17	60,9	30,5	5 10 20 29,3	- - - -	- - - -	- - - -	5 10 20 29,0	1,7 4,4 10,2 16,2	5,1 7,7 8,8 7,9	87 340 900 1284
14	62H45	59,6	19,9	5 10 17,6	3,1 7,9 16,6	3,3 4,1 4,2	105 330 702	5 10 17,9	2,1 5,2 11,5	6,2 6,2 5,1	133 323 591
16	OH30	59,8	19,9	5 10 18,7	3,7 7,9 16,6	5,8 6,6 6,2	214 526 1035	5 10 18,8	2,7 6,1 13,3	6,9 8,4 7,3	187 511 975
17	4H15	28,8	19,2	5 10 17,7	3,2 7,1 13,4	5,9 5,2 3,8	190 371 504	5 10 18,1	2,9 6,2 12,6	3,1 5,2 4,4	90 324 561
18	OH30	58,8	19,6	5 10 18,5	3,6 7,8 16,6	6,0 5,8 5,3	215 454 885	5 10 18,7	3,2 7,1 14,9	8,7 7,1 6,3	277 506 937
19	OH30	88,2	19,1	5 10 18,0	3,4 7,5 15,9	12,4 10,8 7,8	425 817 1245	5 10 18,1	3,5 7,5 15,6	10,6 10,8 6,9	374 811 1170

.../...

TABLEAU XXIII (suite) SPO 22.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
				5	2,1	13,6	289	5	4,0	6,1	244
				10	6,6	8,5	564	10	7,5	7,4	561
20	OH30	122,2	20,4	20	14,3	6,1	880	-	-	-	-
				(19,3)	16,3	5,7	972	19,2	17,1	6,9	1125
				5	3,1	3,1	96	5	-	-	-
				10	7,2	4,9	353	10	0,3	3,6	12
21*	39H50	92,2	38,4	20	16,2	6,2	1004	20	5,0	15,4	772
				36,6	32,4	5,7	1833	28,3	12,0	16,4	1965

* Parcelle 2 simplement labourée une seconde fois, parcelle 1 dans son état naturel.

TABLEAU XXIV CARACTERISTIQUES DE L'EROSION SUR BTG 31.

AVERSES.				REACTION PARCELLE 1				REACTION PARCELLE 2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N°	ta	I mm/h	Pu mm	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha	Pe mm	L mm	Cm g/l	E kg/ha
				5	0,1	2,4	2	5	0,1	6,1	2
				10	0,2	3,8	9	10	0,1	5,8	9
1*	48H00	91,6	61,1	20	3,5	14,6	514	20	0,5	7,7	37
				49,4	26,8	7,4	1974	45,7	14,8	10,2	1515
				5	0,3	1,2	3	5	0,2	2,5	5
2	22H05	55,4	9,2	7,5	0,5	2,8	13	7,1	0,4	4,5	16
				5	1,6	3,5	58	5	1,3	4,0	52
4	OH20	57,5	9,6	8,5	6,7	4,1	274	8,9	6,5	4,6	300
				5	0,1	9,1	11	5	0,2	6,1	10
9	15H52	31,2	20,8	10	1,8	2,3	43	10	1,1	3,7	40
				19,2	10,7	1,7	180	19,5	7,8	3,7	295
				5	1,6	1,9	31	5	1,0	3,4	35
10	OH50	58,8	19,6	10	5,6	1,5	82	10	4,2	3,1	130
				18,3	16,2	1,2	195	18,6	14,4	2,8	397
				5	0,9	2,5	22	5	0,9	5,4	49
11	OH50	86,8	18,8	10	4,9	1,5	73	10	4,4	4,1	178
				17,2	18,2	1,0	189	17,7	16,0	2,9	469
				5	1,1	2,5	27	5	1,0	3,3	33
12	OH55	115,5	19,2	10	4,2	1,9	82	10	3,8	3,4	130
				17,4	17,5	1,2	210	18,0	15,6	2,8	433

* Couple de parcelles préalablement irrigué, sans aspersion, à savoir de 400 mm pendant 10 jours.

TABLEAU XXV CARACTERISTIQUES DE L'EROSION SUR BTG 32.

AVERSES.				REACTION PARCELLE 1				REACTION PARCELLE 2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N°	ta	I	Pu	Pe	L	Um	E	Pe	L	Um	E
		mm/h	mm	mm	mm	g/l	kg/ha	mm	mm	g/l	kg/ha
1	∞	94,7	94,7	5 10 20 85,8	0,1 0,2 0,9 11,0	4,8 3,8 3,5 4,1	13 10 32 450	5 10 20 80,4	- 0,1 0,2 3,1	- 8,2 5,7 13,9	- 3 9 435
2	21H55	63,1	31,5	5 10 20 27,6	0,2 0,8 2,3 4,1	2,3 1,7 1,4 1,2	5 13 32 49	5 10 20 29,0	0,1 0,4 1,1 2,5	5,7 5,3 6,8 7,9	5 20 76 193
3	OH16	62,7	31,3	5 10 20 30,0	0,2 0,8 2,3 6,5	1,6 1,4 1,0 0,8	3 11 28 52	5 10 20 30,1	0,2 0,7 2,2 4,2	8,4 10,1 11,0 8,2	15 67 240 345
4	4H30	60,1	30,1	5 10 20 27,6	0,2 0,7 3,0 6,6	1,0 0,9 0,6 1,3	1 6 19 87	5 10 20 28,8	0,3 1,0 2,9 5,6	5,0 9,5 12,1 9,0	13 97 352 504
5	OH20	59,1	29,5	5 10 20 28,5	0,4 1,6 4,7 9,0	1,3 1,1 1,0 0,8	5 18 45 73	5 10 20 28,7	0,7 2,1 5,0 8,4	9,7 11,7 11,5 9,1	66 246 577 762
6	42H15	54,1	9,0	5 5,3	0,2 0,6	1,0 0,3	2 2	5 6,4	0,2 0,7	6,9 6,0	14 45
13	OH40	57,4	9,6	5 7,7	0,4 5,0	1,0 0,2	4 10	5 8,6	0,4 5,1	7,6 4,1	33 127
18	3H25	29,1	19,4	5 10 17,1	0,3 0,8 5,5	0,2 0,6 0,5	1 4 29	5 10 18,1	0,9 3,7 13,0	2,4 2,1 2,1	21 80 277
19	OH40	58,3	19,4	5 10 17,9	0,4 2,6 13,3	1,0 0,6 0,5	4 17 70	5 10 18,4	1,0 5,4 16,3	4,9 3,1 3,0	52 170 495
20	OH40	90,7	19,6	5 10 17,7	0,4 2,1 13,8	1,5 1,2 1,0	6 26 135	5 10 18,5	1,0 4,2 16,1	4,6 3,9 3,2	45 164 525
21	16H20	93,4	93,4	5 10 20 80,6	- ε 0,2 25,6	- - 20,0 1,8	- - 50 452	5 10 20 86,7	- ε 0,1 20,7	- 14,3 12,9 2,7	- 4 18 569

TABLEAU XXVI CARACTERISTIQUES DE L'EROSION SUR LBA 41.

AVERSES.				REACTION PARCELLE 1				REACTION PARCELLE 2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
N°	ta	I	Pu	Pe	L	Cm	E	Pe	L	Cm	E
		mm/h	mm	mm	mm	g/l	kg/ha	mm	mm	g/l	kg/ha
1	∞	60,9	60,9	5 10 20 52,2	1,2 3,9 10,9 37,8	5,9 2,9 1,8 1,4	70 111 197 547	5 10 20 51,0		- - - -	- - - -
2	21H00	59,7	29,9	5 10 20 27,3	1,2 4,3 11,7 19,2	1,4 1,2 0,9 0,8	18 51 107 155	5 10 20 26,9	0,1 0,3 1,7 4,5	0,7 1,2 1,9 2,3	1 4 33 104
3	OH17	62,0	31,0	5 10 20 29,6	1,8 5,4 12,9 22,2	1,8 1,8 1,3 0,9	32 97 164 210	5 10 20 29,4	0,4 1,8 6,7 13,3	2,4 2,0 1,7 1,5	10 36 115 205
4	7H10	64,9	31,9	5 10 20 29,6	1,9 5,9 14,0 24,0	1,4 1,2 0,9 0,8	26 71 130 187	5 10 20 28,7	0,3 1,7 6,9 13,7	2,3 2,7 2,4 1,8	7 46 165 249
5	OH16	64,8	32,4	5 10 20 30,9	2,0 6,2 14,8 26,9	0,9 0,8 0,7 0,6	18 52 100 160	5 10 20 30,5	0,8 3,4 9,3 17,1	1,9 1,9 1,6 1,5	16 65 153 260
14	62H15	59,5	19,8	5 10 15,7	1,6 4,9 9,8	1,0 1,0 0,8	17 47 79	5 10 15,7	0,7 3,6 7,9	1,4 1,2 1,1	10 43 84
16	OH30	61,6	20,5	5 10 18,7	2,0 6,1 15,2	0,8 0,8 0,7	16 51 112	5 10 18,7	1,6 5,1 13,2	1,1 1,1 1,0	10 57 128
17	4H50	31,2	20,8	5 10 17,8	1,7 5,0 11,0	0,8 0,8 0,6	13 38 69	5 10 18,2	1,0 4,2 10,8	1,2 1,2 1,0	12 49 108
18	OH30	59,3	19,8	5 10 17,6	3,0 7,1 14,6	0,5 0,5 0,4	14 35 58	5 10 17,3	2,9 7,7 15,3	0,6 0,8 0,9	19 61 132
19	OH30	88,4	19,1	5 10 17,0	1,7 6,2 15,4	0,3 0,4 0,5	6 26 81	5 10 17,2	1,6 6,1 15,3	1,6 1,4 1,2	26 85 189
20	OH30	120,5	20,1	5 10 18,0	2,2 6,7 16,5	0,5 0,5 0,5	11 33 78	5 10 18,0	2,0 5,7 14,0	0,7 0,8 0,8	15 46 119

3.2.2. DESCRIPTION COMPARATIVE DE QUELQUES HYDROGRAMMES ET DE QUELQUES

TURBIDIGRAMMES.

Les tableaux caractéristiques du ruissellement et de l'érosion qui viennent d'être présentés sont relatifs à 164 averses simulées. Pour alléger ce rapport, nous n'avons pas jugé utile de reproduire la totalité des hydrogrammes et des turbidigrammes correspondants issus des expérimentations menées sur les quatre sites.

La description qui suit ne porte que sur le couple des parcelles PNI 13. En ce qui concerne les caractéristiques du ruissellement et de l'infiltration, on s'aperçoit que les commentaires que l'on est amené à faire sur le comportement général de ces deux parcelles, peuvent être repris, à quelques variantes près, pour les 14 autres.

Pour les caractéristiques de l'érosion, nous verrons dans l'analyse comparative des réactions des sols, développée dans le chapitre V que les différences de comportement sont assez sensibles. Les données et observations mentionnées dans ce paragraphe devraient donc surtout éclairer le lecteur sur la démarche méthodologique communément utilisée pour analyser les réactions de chaque couple de parcelle.

- Averse n° 1 de 60 mm/H pendant 1 heure (voir figure 33 et 34)

Le sol est dans un état de sécheresse extrême car il n'a pas plu dans la région depuis plusieurs mois.

Sur le sol non remanié (parcelle 1) le ruissellement met plus de 8 minutes pour apparaître, ce qui correspond à une pluie d'imbibition de 8,4 mm. La phase transitoire dure une douzaine de minutes puis le ruissellement atteint un palier dont la valeur oscille autour de 46 mm/H jusqu'à la fin de l'averse. Malgré des conditions d'humectation initiale on ne peut plus défavorables, la hauteur de la lame d'eau ruisselée dépasse 36 mm, ce qui correspond à un coefficient de ruissellement global de 61 % pour 60 mm de pluie.

Sur la parcelle initialement labourée la pluie d'imbibition est beaucoup plus élevée (15,5 mm). En réalité on peut considérer que la hauteur de pluie d'imbibition atteint presque 40 mm car entre les temps 16 et 40 minutes le ruissellement reste très localisé avec une intensité résultante apparente de 2,5 mm/H. Au cours des dernières minutes le ruissellement croît à peu près linéairement dans le temps pour atteindre 16 mm/H à l'arrêt de la pluie sans que cette valeur corresponde toutefois à un palier : l'effet du labour continue à jouer et le ruissellement n'a pas lieu sur toute l'étendue de la parcelle. Au total, pour cette première averse, l'effet du labour a été assez efficace puisque sur les 60 millimètres de pluie, 56 se sont infiltrés contre 23 seulement sur le sol naturel.

En ce qui concerne l'érosion sur le sol non labouré, on observe dès le début du ruissellement une augmentation brutale de la turbidité jusqu'à une valeur C de 9,3 g/l atteinte pendant le régime transitoire des écoulements. Il s'agit de la conjugaison :

- 1) Des débits solides provenant de l'entraînement des éléments meubles mobilisables Q_{st} ,
- 2) Des éléments détachés par l'effet "splash" : Q_{sp}

- 3) De l'apparition progressive d'une abrasion due à l'érosion en nappe Q_n .

Il s'établit ensuite entre 20' et 40' un palier de turbidité C_x d'environ 3 g/l qui se maintient jusque la fin de la pluie. On suppose que pendant l'instauration du régime permanent du ruissellement, le débit solide est de moins en moins alimenté par l'effet "splash" au fur et à mesure que se constitue la lame de détention superficielle récupérable par le ruissellement. De 40' à 60' prédomine l'érosion en nappe. Il en résulte une érosion globale de 1210 kg/ha pour 60 mm de pluie et l'on peut considérer que le turbidigramme est de type 1 (cf. paragr. 3.2.2.1.)

Le comportement de la parcelle labourée est extrêmement différent. Pendant la durée d'environ 15' de la phase d'imbibition, seul prédomine l'effet "splash" contribuant :

- 1) A la désagrégation des mottes de labour,
- 2) A une diminution de l'infiltrabilité par colmatage des porosités de surface. La lame ruisselante reste cependant trop peu importante pendant 40' pour pouvoir exporter tous les éléments mobilisables. Du fait de la rugosité de la parcelle, maintenant exondée une grande surface de sol, l'effet "splash" se poursuit jusqu'à la fin de la pluie. De 15' à 55' la turbidité croît à peu près linéairement puis il s'amorce un fléchissement correspondant à une valeur C_u de 4,6 g/l annonçant la diminution de cet effet "splash".

Dans ces conditions de forte infiltration, l'érosion globale n'atteint sur cette deuxième parcelle que 126 kg/ha mais nous verrons, par la suite, que le stock de sédiments constitués lors de cette averse, et non encore exporté, est important.

- Averses n° 2 et 3 de 60 mm/H pendant 30' (voir figures 35 à 38)

Avant le début de l'averse n° 2 le sol s'est ressuyé pendant 23 heures. Sur la parcelle 1 le ruissellement apparaît pour une pluie d'imbibition de 2,5 mm beaucoup plus faible que la veille et le palier est pratiquement atteint au bout de 15 minutes au lieu de 20. La valeur de ce palier est un peu plus élevée (49 mm/H au lieu de 46). En revanche, sur la parcelle 2 l'hydrogramme est très différent de celui qui avait été observé la veille : en premier lieu les écoulements apparaissent beaucoup plus tôt ($Pe = 2,8$ au lieu de 40 mm) et ensuite la courbe de montée est beaucoup plus redressée, un véritable palier étant atteint au bout de 20 minutes. La lame ruisselée est assez importante (14,4 mm) mais moins élevée que sur le sol non remanié (20,6 mm).

L'averse n° 3 correspond à un temps de ressuyage de 20 minutes seulement. Les hydrogrammes ont un aspect comparable aux précédents mais présentent des caractères plus accusés : démarrage du ruissellement plus rapide, durée plus brève de la phase transitoire, valeurs plus élevées du palier et du coefficient de ruissellement. Cependant, les intensités d'infiltration demeurent plus importantes sur labour (parcelle 2).

Les turbidigrammes de ces deux averses mettent surtout en évidence :

- a) L'influence des temps d'arrêt (t_a) entre deux averses consécutives,
- b) Les caractéristiques structurales du sol.

Sur la parcelle n° 1, on constate que pendant la phase transitoire, la turbidité C_s atteint 4,5 g/l pour l'averse n° 2 et environ 5,5 pour l'averse suivante. Cette différence doit être mise en relation avec une désiccation plus importante du sol en début de l'averse n° 2 ($t_a = 23$ h 00), ceci s'oppose à une mobilisation complète du stock d'éléments meubles abandonnés lors de la phase de vidange de l'averse n° 1. On remarque en outre, pour ces averses 2 et 3 que la durée $t_{Cs} - t_i$ est nettement plus courte (1' à 1'30") que ce qui est observé pour l'averse n° 1 (4 à 5').

Pendant le régime permanent des écoulements, on retrouve une turbidité C_x fonction R_x avoisinant les valeurs observées lors de la première averse : $C_{x2}^* = 3,0$ g/l, $C_{x3} = 3,5$ g/l ; cette légère augmentation de l'érosion en nappe pour l'averse n° 3 est liée à une augmentation de R_x (55 mm/h). Ces deux turbidigrammes restent de type 1.

Au bilan, on note entre les averses 1 et 2 des érosions très voisines pour des hauteurs P_e identiques (cf tableau XIX). Les érosions partielles ($P_e = 8$ et 15 mm) ou globales ($P_e = 30$ mm) augmentent par contre sensiblement lors de la troisième averse pour les raisons évoquées précédemment : t_a court permettant une exportation plus facile de sédiments encore bien humectés, et augmentation de l'érosion en nappe.

Sur la parcelle 2, le turbidigramme rejoint, dès la deuxième averse, le type 1 et l'on retrouve une influence marquée de la durée des temps d'arrêt : en effet, C_{s2} pour $t_a = 23$ h 00 atteint 5,6 g/l avec $t_{Cs} - t_i = 7'$, tandis que C_{s3} pour $t_a = 20'$ atteint 7,5 g/l trois minutes seulement après l'apparition du ruissellement. On remarque également que pour ces averses, les pics de turbidité dépassent encore nettement ceux de la parcelle non labourée. Mais on voit également que l'on atteint un palier $C_{x3} = 3,2$ g/l très voisin de ce que l'on a sur la parcelle non labourée.

Il n'aura donc fallu que trois averses pour que les comportements des deux parcelles deviennent pratiquement identiques. A partir de ce moment, pour des intensités de pluie d'environ 60 mm/h les érosions partielles et globales deviennent équivalentes. Tout ceci confirme, en les précisant les observations visuelles de terrain.

* $C_{x2,3,4}$: valeurs successives de C_x pour les averses Nos 2, 3, 4 etc...

Après examen des phénomènes relatifs à ces trois premières pluies, il semble déjà que l'on puisse mettre en lumière les faits saillants suivants :

- 1) L'état d'humectation initial du sol, qui dépend de la durée de ressuyage, a une influence marquée sur les quantités ruisselées et les caractéristiques géométriques des hydrogrammes,

- 2) Le laps de temps écoulé entre deux averses consécutives a également une forte influence sur la mobilisation du stock de sédiments contribuant à l'alimentation du débit solide Q_{st} pendant la phase transitoire,

- 3) Le niveau du palier C_x est très dépendant de celui de R_x , cette dépendance apparaissant d'emblée sur la parcelle non labourée et s'établissant plus progressivement sur la parcelle labourée,

- 4) L'effet modérateur du labour, initialement très important, a tendance à s'estomper avec la hauteur de la lame d'eau ruisselée cumulée mais persiste encore après 120 mm de pluie cumulée pour le type de sol étudié ici,

- 5) Il apparaît possible de caractériser l'état structural d'un sol en comparant le comportement des deux parcelles soumises aux mêmes averses.

- Averses n° 4 et 5 de 60 mm/h pendant 30' (voir figure 39 à 42)

Au début de l'averse n° 4 la durée du ressuyage (7 H 00) est comprise entre celle de l'averse n° 2 (23 H 00) et celle de l'averse n° 3 (20'). On remarque que l'hydrogramme résultant présente également des caractéristiques intermédiaires, aussi bien en ce qui concerne les valeurs de P_i et de L qu'en ce qui concerne les caractéristiques géométriques (valeurs des paliers et pentes moyennes des courbes de montée). Ceci confirme l'influence déjà notée plus haut de l'état d'humectation initial du sol.

Comme l'averse n° 3, la n° 5 correspond à un ressuyage de 20 minutes et on devrait normalement observer des hydrogrammes très ressemblants, du moins pour la parcelle 1. En réalité l'essai a été perturbé par un vent relativement fort et irrégulier qui s'est levé une dizaine de minutes après le début de l'averse. Les comparaisons ne peuvent donc porter rigoureusement que sur les pluies d'imbibition qui sont effectivement très voisines. (respectivement 1,2 et 1,3 mm pour la parcelle 1 ; 1,2 et 1,1 pour la parcelle 2).

Les quatre turbidigrammes issus de ces deux averses s'identifient de plus en plus au type 1, la comparaison des deux parcelles fait ressortir une remarquable identité de comportement. Les pics C_{s4} atteignent dans les deux cas 4,5 g/l et les paliers C_{x4} : 3 g/l.

Il faut aussi attirer l'attention sur une différence $C_s - C_x$ s'atténuant progressivement tout au long des essais, ce qui revient à dire que l'érosion globale est de plus en plus alimentée par le débit solide d'érosion en nappe Q_n et, toujours au bilan, de moins en moins par les débits Q_{sp} . On note conjointement une atténuation de l'influence des temps d'arrêt entre les averses, en effet, les turbidités C_{s4} sont très peu différentes des C_{s5} ; ceci devient encore plus flagrant lorsque l'on compare les C_{s3} (parcelle 1 : 5,5 g/l, parcelle 2 : 7,5 g/l) et les C_{s5} (parcelle 1 = parcelle 2 = 4,5 g/l) dont les temps d'arrêt sont équivalents (15 à 20').

En ce qui concerne les paliers de turbidité, on note entre l'averse n° 4 et l'averse n° 5 une diminution sensible ($C_{x4} = 3$ g/l et $C_{x5} = 2,5$ g/l) et identique pour les deux parcelles.

Ces différentes observations peuvent s'interpréter de la façon suivante : sur les deux parcelles parvenues, à l'issue de cette cinquième averse, au même niveau d'érodibilité, intervient de façon prépondérante la composante Q_n dans l'érosion globale, ceci à cause :

- 1) De l'instauration de plus en plus précoce de R_x ,
- 2) De la diminution de la composante Q_{st} repérable par une atténuation des différences $C_s - C_x$ et enfin,
- 3) De la durée très brève du débit Q_{sp} .

L'instauration rapide de R_x et la diminution sensible des turbidités C_s entre les averses 4 et 5 nous conduisent à supposer la constitution à ce stade des essais, d'une pellicule de battance dont la cohésion et la perméabilité varieront dès lors très peu pendant des averses de même intensité.

Au bilan, pour des hauteurs P_e identiques, les érosions partielles ou globales des deux parcelles sont très voisines : $E = 700$ kg/ha pour une hauteur de P_e proche de 30 mm.

- Train d'averses n° 6 à 13.

Il est composé de 8 averses à 60 mm/H de durée 10 minutes et espacées de 20 minutes. La première averse correspond à un temps d'arrêt, t_a , de 16 H 00.

Sur les deux parcelles, les caractéristiques des hydrogrammes résultants (voir tableaux III et XI) évoluent de façon nette mais relativement peu accentuée au cours des trois premières averses et cette évolution est stabilisée, à la précision des mesures près, à partir de la quatrième averse. On voit ainsi que pour de faibles durées de pluie la hauteur de précipitation antérieure cumulée a également une légère influence sur le ruissellement. On remarque aussi que l'on continue à obtenir des intensités d'infiltration un peu plus fortes sur labour : les coefficients de ruissellement globaux calculés sur les cinq dernières averses du train sont respectivement de 87 % et 84 % pour les parcelles 1 et 2.

- Train d'averses n° 14 à 17. (figures 43 à 46)

Il comporte quatre averses identiques aux précédentes mais espacées de 40 minutes. Pour l'averse n° 14 la durée du ressuyage est de 3 H 15. D'une façon générale les ruissellements sont légèrement inférieurs à ceux qui avaient été observés au cours des essais précédents (durées de ressuyage plus longues) mais cette fois-ci les deux parcelles se comportent exactement de la même façon et les coefficients de ruissellement sont globalement les mêmes (83,5 % en moyenne sur les trois dernières averses). En ce qui concerne la susceptibilité des sols au ruissellement on peut en déduire que l'effet de labour a totalement disparu.

Des prélèvements d'échantillons ont permis de dresser quatre turbidigrammes correspondant aux averses n° 14 et 17 d'environ 60 mm/h pendant 10' mais cette durée très courte rend malaisée l'interprétation des processus d'érosion, on se trouve en effet ici en présence des "cas particuliers" de turbidigrammes évoqués dans le paragraphe 3.1.2.3. .

Les pics C_s oscillent entre 2,5 et 3,5 g/l, on remarque que les parcelles labourées fournissent les valeurs sensiblement plus élevées, il est par contre impossible de repérer un palier C_s . En superposant hydrogrammes et turbidigrammes on constate, pendant la phase de régime permanent, une diminution rapide des turbidités sauf peut-être pour la parcelle 1 recevant l'averse 17 où un pseudo-palier peu pentu se dessine vers 2,5 g/l. Dans les trois autres cas il n'est possible de donner que des valeurs $C_s(t_u)$ comprises entre 2 et 1,5 g/l. On peut cependant remarquer que ces turbidités de fin de pluie sont de 1,5 à 2 fois plus faibles que les turbidités C_s des averses n° 4 et 5.

La tendance qui se dessinait, avant ces essais, semble bien se confirmer : érodibilité diminuant tout au long des averses en liaison avec la constitution d'une pellicule de battance d'où des débits solides Q_n vraisemblablement bas si l'on considère la pente de la portion de courbe entre t_{Cs} et t_u . On continue à observer une identité de comportement des parcelles 1 et 2.

- Train d'averses n° 18 à 21.

Avec 60 mm/h d'intensité, ces averses durent 20 minutes et sont espacées d'une demi-heure. Pour la première d'entre-elles la durée de ressuage est de 63 H 00. Sur la parcelle n° 1 ce temps d'arrêt relativement long se traduit par une hauteur de pluie d'imbibition assez élevée (3,9 mm) et une valeur de palier modeste (48,6 mm/h). Pour les trois averses suivantes les coefficients de ruissellement sont sensiblement moins forts que ceux du train précédent malgré les durées d'arrosage plus longues. Mais il est à craindre que les hauteurs de pluie aient été surestimées sur la parcelle 1 en raison d'un vent assez violent soufflant en rafales. Inversement les pluies moyennes ont été sous-estimées sur la parcelle 2 (parcelle sous le vent), ce qui explique des lames ruisselées anormalement élevées et des coefficients de ruissellement dépassant 100 %. Il semble toutefois que le sol initialement labouré de cette parcelle ait continué à évoluer dans le sens de l'imperméabilisation.

- Train d'averses n° 22 à 25 (intensités de 30,60,90 et 120 mm/h)

Les hydrogrammes sont reproduits en figures 47 à 53 mais les résultats sont difficilement interprétables en raison de l'incertitude sur les valeurs des hauteurs de pluie due à des rafales de vent particulièrement violentes. Ils ne seront donc pas utilisés pour l'étude du ruissellement.

En revanche, les turbidigrammes provenant de ces averses à diverses intensités sont exploitables.

On constate en premier lieu, une nouvelle séparation nette dans le comportement des deux parcelles dès la première averse à 30 mm/h (n° 22) ; il est d'autre part surprenant que la parcelle 2 subissant l'averse n° 23 à 60 mm fournisse des résultats nettement différents de ceux que l'on avait obtenus précédemment pour des pluies de même intensité et de même temps d'arrêt.

En ce qui concerne la première parcelle non labourée subissant des pluies d'intensité croissante, on remarque que les différents turbidigrammes s'identifient au type 1 avec cependant un doute pour l'averse n° 25 où le palier C_x est à peine amorcé avant la fin de la pluie.

Le tableau XXVII résume les turbidités C_s et C_x observées pour les quatre intensités d'averse :

Tableau XXVII. PNI 13, Parcelle 1, C_s et C_x pour différentes intensités de pluie.

AVERSE N°	22	23	24	25
I mm/h.....	29,0	58,4	82,7	113,2
C_s g/l.....	2,5	3,5	4,1	(8)*
C_x g/l.....	1,5	1,7	2,5	(2)*

* Valeurs estimées.

Malgré le faible nombre de données relatives à l'averse N° 25, les valeurs du tableau XXVII font apparaître une croissance linéaire de C_s en fonction de I . On remarque d'autre part que si la différence $C_s - C_x$ reste modeste aux intensités faibles ou moyennes, elle est en revanche considérablement plus forte pour l'averse N° 25 (113,2 mm/H) en raison d'un effet splash beaucoup plus marqué pour cette forte intensité.

Si l'on ne considère que les quantités globales de matériaux exportés on constate que pour une hauteur de pluie cumulée SP de 400 mm, l'intensité de la pluie influe somme toute assez peu sur cette parcelle non labourée : en première approximation on aurait une relation linéaire de la forme $E = 0,23 (I + 51)$ pour la première tranche de pluie efficace de hauteur 15 mm, c'est à dire pendant la phase initiale du ruissellement où interviennent simultanément les composantes Q_{sp} et Q_n . L'érosion croît également en fonction de l'intensité pour la phase finale au cours de laquelle l'effet de l'érosion en nappe est prépondérant mais au delà de 82,7 mm/H (averse 25) il semble que l'effet de cette forme d'érosion puisse décroître.

Sur la deuxième parcelle labourée on assiste à une reprise importante de l'érosion que faute de mieux l'on attribue à une influence de l'averse n° 22 de plus faible intensité, sans qu'il soit, pour l'instant, possible de préciser en quoi une chute d'intensité dans une séquence pluvieuse pourrait "sensibiliser" la surface du sol.

On constate également que les turbidigrammes diffèrent totalement de ceux de la première parcelle : les pics C_s sont plus importants et il devient impossible de caractériser un palier C_x pour les averses n° 23, 24 et 25 qui durent trop peu de temps pour que toutes les phases du processus puissent être observées.

A titre d'information, le tableau XXVIII regroupe les valeurs de C_s et, à défaut de C_x , les valeurs de la turbidité observées à la fin de la pluie $C(t_u)$.

Tableau XXVIII PNI 13, Parcelle 2, C_s et C_x pour différentes intensités de pluie.

: AVERSE N°	: 22	: 23	: 24	: 25	:
: I mm/h.....	: 29,0	: 58,4	: 82,7	: 113,2	:
: C_s g/l.....	: 3,7	: (6,5)	: (8)	: ?	:
: C_u g/l....	: 2,1	: 1,5	: 3,5	: (4)	:

Pour l'averse n° 22 nous reprenons les observations développées dans le premier exemple du paragraphe 3.1.2.3. Pour les averses suivantes on remarque que les turbidités C_s y sont en moyenne deux fois plus importantes que celles des parcelles s_1 .

Au bilan, on constate que pour les hauteurs $P_e = 15$ mm, les érosions des averses 23, 24, 25 sont très proches de celles des averses n° 3, 4, 5 à 60 mm/h, il n'est cependant pas possible, ici, de distinguer les composantes Q_{sp} de Q_n .

Averse n° 26 (cf. figure 54 et 55).

Cet essai a eu pour but de mettre en évidence l'influence de certaines techniques culturales sur l'infiltrabilité et l'érodibilité du sol. A cet effet, la parcelle n° 1 a été aménagée en buttes cloisonnées et la parcelle n° 2 recouverte d'un paillis protecteur en chaumes de sorgho après avoir été préalablement relabourée.

Les effets des différentes techniques seront analysées de façon détaillée au cours des chapitres suivants mais on peut dès à présent dégager certaines interprétations.

Pour faciliter toutes comparaisons, nous avons reproduit les hydrogrammes, turbidigrammes et solidigrammes de l'averse n° 1 (parcelle non labourée recevant 60 mm/h pendant 60'). Sur ces courbes nous avons prolongé les paliers R_x , C_x et Q_x jusqu'au temps t_u de 110' ce qu'objectivement, nous avons le droit de faire si l'on tient compte des observations effectuées sur les averses intermédiaires.

Nous disposons donc de données sur trois types de parcelles, que par commodité nous allons désigner par :

- A : sol nu, non labouré, initialement sec,
- B : buttes cloisonnées, sol humecté par les pluies précédentes,
- C : nouveau labour et épandage d'un mulch de chaumes sur un sol également humide.

Voyons d'abord les différences de comportement les plus flagrantes en ce qui concerne le ruissellement et l'infiltration.

L'apparition du premier ruissellement est rapide pour A (7') et extrêmement différé pour B et C (environ 20' dans les deux cas), cette différence tient évidemment au temps de remplissage des porosités créées par les deux labours. Pendant les 40' suivantes, les cuvettes ménagées entre les buttes se remplissent (B) et les mottes de labour ne se désagrègent que lentement (C) grâce à la protection du mulch. Seuls commencent à ruisseler ($R = 1$ à 2 mm/h) les secteurs de parcelles situés à proximité du canal de ruissellement.

L'apparition d'un régime permanent du ruissellement est atteint très peu de temps après l'apparition des premiers écoulements pour A ($t_m - t_i$ d'environ 11') alors qu'il est très progressif pour C où l'on peut voir qu'en fin d'averse le palier R_x n'est probablement pas encore atteint. Sur l'hydrogramme B on constate une^x montée brutale du débit vers 60' jusqu'à 75', qui correspond à une rupture en chaîne des cloisons séparant les buttes et aux multiples débordements des cuvettes.

Les coefficients globaux de ruissellement sont respectivement de 25,5 et de 16,7 % pour les hydrogrammes B et C, ce qui correspond à des lames infiltrées de 84,4 et 94,4 mm. Pour l'hydrogramme A le coefficient de ruissellement à $t_u = 60'$ est de 61,3 % et la lame d'eau infiltrée n'atteint que 23,3 mm. En effet, on peut estimer grossièrement à 29 mm la lame d'eau qui se serait infiltrée si l'averse avait durée 110'. Il convient même de préciser que pour une averse de ce type se produisant dans de meilleures conditions d'humectations initiales, la lame infiltrée serait encore bien inférieure. C'est donc une réserve hydrique supplémentaire d'environ 60 mm en moyenne que le sol a pu emmagasiner au cours de cet essai grâce aux techniques culturales pratiquées.

Nous venons de voir l'influence des techniques culturales sur les coefficients globaux de ruissellement et d'infiltration en mettant en valeur la grande importance de la phase d'imbibition pendant laquelle l'intensité d'infiltration est maximale (si l'on excepte les 1 à 2 mm de ruissellement parasite) ; il convient aussi de remarquer que, lorsque s'instaure la phase du régime permanent, les intensités minimales d'infiltration (F_n) observées sont de 1,5 à 2 fois plus importantes sur les parcelles B et C.

Si l'effet bénéfique de ces deux aménagements culturaux sur l'infiltration apparaît nettement, voyons ce qu'il convient d'en dire en ce qui concerne l'érosion.

Les nouveaux labours subis par les parcelles, juste avant l'averse n° 26, mélangent intimement les sédiments meubles délaissés par l'averse précédente et rendent disponibles en surface une grande quantité de matériaux facilement exportables. La distinction entre composantes C_{st} et C_{sp} de la turbidité devient ainsi sans objet.

Les ruissellements parasites de 20 à 60' exportant les matériaux désagrégés par effet splash, fournissent de bons renseignements sur les hauteurs atteintes par C_{s1} que l'on identifie à C_{sp} . Sur la parcelle B, C_{s1} atteint 9,2 g/l, l'effet protecteur du mulch apparaît nettement sur la parcelle C où le pic de turbidité est réduit de plus de la moitié ($C_{s1} = 3,5$ à 4 g/l). Evidemment les débits solides correspondants sont très faibles étant données les très basses intensités du ruissellement.

Lorsque, pour les raisons évoquées précédemment s'instaure un ruissellement généralisé, on récupère les eaux de toute la superficie de la parcelle et l'on constate que leur turbidité C_{s2} est comparable, quoique légèrement inférieure, au premier pic C_{s1} d'environ 1 g/l. Cette sensible diminution de C_{s1} à C_{s2} peut s'interpréter d'abord par une sédimentation partielle des terres érodées dans les cuvettes de la parcelle B et ensuite par un colmatage des porosités sur les deux parcelles B et C. La diminution de la porosité de surface qui en résulte, est plus rapide sur la parcelle B où un palier R_x s'instaure avant la fin de la pluie, que sur la parcelle C où les intensités de ruissellement ne décroissent nettement que vers la fin de l'averse.

Au bilan, le traitement C est nettement plus protecteur et ceci apparaît déjà en comparant les érosions globales en fin d'averse sur les deux traitements B et C :

AVERSE N° 26		
	Traitement B	Traitement C
E (kg/ha)		
pour P_e 93 mm	1683	415

... et aussi en rappelant les résultats observés sur un simple labour dans des conditions d'humectation voisines :

PARCELLE 2 : TRAITEMENT C		
AVERSE N°2 : AVERSE N° 26		
E (kg/ha)		
pour P_e de		
8 mm.....	111	7
de 15 mm.....	393	21

Il est par contre difficile de juger la validité du traitement B en ce qui concerne une limitation de l'érosion. Malgré un temps t_u relativement long à l'issue duquel se dessine une diminution du débit solide, on ne sait pas si le palier R_x amorcé est encore susceptible de modifications au fur et à mesure que s'effondrent les buttes de labour. Tout dépendra de la conjonction turbidité-intensité du ruissellement ; signalons qu'au temps t_u , les turbidités sont encore très fortes ($C_{tu} > 4$ g/l) et qu'il en résulte un débit solide non négligeable (Q_{tu} voisin de 150 g/s/ha).

En résumé, et toujours en ce qui concerne l'érosion, nous avons suivi l'évolution du couple de parcelles PNI 13 ayant reçu, à l'issue de la 25ème averse 450 mm de pluie ; des observations de terrain et de la confrontation des données expérimentales, se dégagent les faits les plus importants suivants :

- Il est souvent possible, pour une situation donnée, de rattacher les valeurs C_s et C_x à une phase caractéristique de l'érosion (récupération du stock initial, effet splash, érosion en nappe),

- Ces deux caractéristiques doivent pouvoir être reliées aux conditions d'humectation initiales, à l'intensité moyenne de la pluie (C_s), à l'intensité maximale du ruissellement (C_x),

- Pour une même intensité de la pluie (averses n° 1 à 21), une parcelle tend, tout au long des averses et pour des hauteurs de pluies efficaces identiques, vers une érosion limite ; on peut relier cette particularité à la constitution d'un nouvel horizon pédologique superficiel communément dénommé "pellicule ou croûte de battance" qui contribue à renforcer le ruissellement mais acquiert également suffisamment de cohésion pour pouvoir limiter l'érosion,

- Cette pellicule de battance semble être constituée d'éléments dont l'agencement est métastable c'est à dire qu'une variation de l'intensité de l'averse modifie instantanément ses caractéristiques moyennes de conductivité hydraulique et de résistance à l'érosion),

- La comparaison de l'évolution des deux parcelles labourées et non labourées, apporte des indications intéressantes sur la stabilité structurale des premiers centimètres du sol,

- Le travail du sol diminue instantanément l'érosion et ceci, semble-t-il, de façon durable lorsqu'il s'agit du labour protégé par un mulch et de façon plus provisoire lorsqu'il s'agit de buttes cloisonnées. Ce dernier traitement est très efficace pour des pluies pas trop élevées (inférieures à 50 mm dans le cas exposé ci-dessus), mais lorsque la hauteur de l'averse dépasse un certain seuil on assiste à une destruction en cascade des diguettes entraînant des débits solides extrêmement élevés. Pour ces averses le remède est finalement pire que le mal.

CHAPITRE IV

RUISSELLEMENT ET INFILTRATION

Des méthodes d'interprétation des données ayant été récemment exposées (LAFFORGUE 1978), on se propose de les appliquer ici à la détermination des principaux paramètres caractérisant le comportement hydrodynamique des parcelles étudiées et, à cet effet, on examinera successivement les différentes phases du processus général décrit au chapitre précédent. Pour chacune de ces phases, les résultats seront présentés et commentés après un bref rappel des méthodes utilisées.

4.1. La phase d'imbibition.

4.1.1. Rappels et justification de la méthode utilisée.

On a vu à l'examen du processus général que la phase précédant l'apparition du ruissellement était globalement caractérisée par la hauteur de pluie d'imbibition P_i . Si l'on reprend le graphique de la figure 26, on constate que P_i est une somme de quatre termes correspondant chacun à des phénomènes distincts :

- Le premier terme représente la hauteur de pluie retenue par le couvert végétal (interception). Mais pour les parcelles étudiées ici, si l'on excepte le cas des sols traités en mulch à la fin de certains protocoles, la part de l'interception est pratiquement nulle et c'est pourquoi nous la négligerons dans tout ce qui suit.

- Le second terme correspond à la hauteur de pluie $P_p = W_p$ infiltrée jusqu'à l'apparition des flaques. Ce terme a été étudié expérimentalement par de nombreux chercheurs et certains d'entre eux fournissent des expressions analytiques comme celle de MORELL-SEYTOUX (1975) ou celle qui est utilisée aux Etats-Unis par les chercheurs du A.R.S. (1976).

On retiendra que ces expressions sont de la forme

$$W_p = C_1(I) \cdot (\theta_s - \theta_0) \quad (4)$$

où C_1 est un coefficient dépendant principalement des caractéristiques hydrodynamiques du sol en surface ainsi que de l'intensité de la pluie. θ_s représente la teneur en eau du sol à saturation et θ_0 la teneur en eau du sol en surface au début de l'averse.

- Le troisième terme à considérer est la hauteur de la lame d'eau S_i immobilisée en surface sous forme de flaques au temps t_i (rétention de surface). Elle dépend à la fois de l'étendue, de la profondeur et de la disposition des dépressions topographiques du sol.

Dans le cas de parcelles rigoureusement planes, cette hauteur a une valeur minimale dépendant de la nature du matériau de surface puisqu'elle correspond alors à la hauteur moyenne de lame d'eau immobilisée sous le seul effet des forces de tension superficielles.

On peut d'ailleurs préciser à l'issue d'expériences récentes réalisées sur des parcelles imperméabilisées que cette valeur minimale est de l'ordre de 0,2 mm (figure 56).

- Il faut également tenir compte de la hauteur d'eau ($W_i - W_p$) qui s'infiltré pendant la durée de remplissage des flaques. C'est un terme complexe, délicat à évaluer isolément, mais dépendant essentiellement, comme le précédent, de la morphologie superficielle. Il est évidemment nul pour une surface soigneusement aplanie mais peut atteindre en revanche plusieurs dizaines de millimètres dans le cas de sols préalablement soumis à certaines pratiques culturales appropriées telles que billons cloisonnés ou labours isohypses. D'autre part, pour une intensité d'arrosage donnée on conçoit que ce terme soit également une fonction croissante de $(\theta_s - \theta_o)$ et, en première approche nous poserons :

$$(W_i - W_p) = C_2(I) \cdot (\theta_s - \theta_o) + H_i(I) \quad (5)$$

où H_i représente évidemment la hauteur d'eau qui s'infiltrerait avant l'apparition du ruissellement sur un sol initialement saturé.

- Signalons enfin qu'à ces quatre termes il faut ajouter une hauteur d'eau S_r correspondant au retard introduit par le dispositif de mesure, c'est à dire au temps nécessaire pour que les premiers écoulements parviennent depuis la bordure aval de la parcelle jusqu'à la cuve de mesures des débits. Cette hauteur d'eau a été étudiée avec notre dispositif sur des parcelles imperméabilisées et, comme le montre le graphique de la figure 56, elle varie à peu près linéairement avec l'intensité de l'averse et correspond à un temps de trajet d'environ 15 secondes entre le canal collecteur et la cuve réceptrice. Sous une intensité de 60 mm/H, cette hauteur d'eau est voisine de 0,4 mm.

L'inventaire auquel nous venons de procéder permet d'écrire :

$$P_i = W_p + S_i + (W_i - W_p) + S_r \quad (6)$$

soit encore, en utilisant (4) et (5) et en regroupant sous le symbole $H_i(I)$ tous les termes ne dépendant pas de l'état d'humectation initial :

$$P_i = C(I) \cdot (\theta_s - \theta_o) + H_i(I) \quad (7)$$

La linéarité de la relation $P_i(\theta_o)$ qui précède a déjà été vérifiée directement sur la base des données d'autres campagnes réalisées en Côte d'Ivoire, mais ne disposant pour la présente étude que d'un faible nombre de résultats de mesures pondérales d'humidité, nous procéderons indirectement

par le biais du paramètre t_a qui exprime l'intervalle de temps, en heures, séparant le début de l'averse étudiée de la fin de l'averse précédente. Cette durée de ressuyage est d'ailleurs d'un emploi fréquent en hydrologie analytique car elle permet de caractériser commodément à l'aide d'un seul indice global le champ d'humectation d'une zone plus ou moins étendue et hétérogène dont il ne pourrait être autrement rendu compte que par un très grand nombre de profils ponctuels d'humidités volumiques.

Afin d'introduire ce paramètre, on proposera deux hypothèses simplificatrices dont on vérifiera ultérieurement la validité en confrontant aux données expérimentales les résultats auxquels elles conduiront.

1°) On admettra qu'à l'arrêt de chaque averse donnant lieu à du ruissellement, l'humidité moyenne dans la tranche superficielle du sol est très voisine de l'humidité moyenne à saturation θ_s .

2°) On posera en outre qu'à partir de cet état voisin de la saturation, l'humidité moyenne de cette même tranche superficielle décroît dans le temps de façon exponentielle :

$$\theta(t) = \theta_s \cdot e^{-\alpha t} \quad (8)$$

Il est certain que dans le cas général ces hypothèses ne constituent qu'une approximation grossière de la réalité. Nous savons en particulier que les valeurs atteintes par l'humidité en fin d'averse dépendent à la fois de l'humidité initiale et de l'intensité de la pluie (MORELL - SEYTOUX, 1975) et que, s'il n'y a pas eu submersion complète, les valeurs finales sont sensiblement inférieures à θ_s . Cependant, mis à part ceux de PNI 12, les sols auxquels nous avons eu affaire étant dans l'ensemble peu perméables et de surcroît sujets à la formation de croûtes superficielles, la plupart des essais sous intensité de 60 mm/H ont donné lieu à une submersion presque totale qui implique la quasi saturation de la couche superficielle.

Quant à la relation (8), il faut insister sur le fait qu'elle n'a aucun fondement théorique et ne peut donc avoir de portée générale. Mais elle a le mérite de la simplicité et nous estimons qu'elle rend bien compte ici, en moyenne, des effets conjugués et complexes du drainage interne et de l'évaporation, cette dernière étant particulièrement intense à l'époque des essais.

Moyennant ces hypothèses, la relation (7) devient :

$$P_f(t_a) = C \cdot \theta_s (1 - e^{-\alpha t_a}) + H_f \quad (9)$$

expression dans laquelle les trois paramètres inconnus peuvent être déterminés simplement à partir des données expérimentales.

En effet, si nous considérons les dernières averses d'un train de pluies très rapprochées ($t_a = 10'$ ou $20'$), nous avons :

$$P_i(t_a) \# P_i(0) = H_i \quad (10)$$

Inversement, en envisageant le cas de la première averse du protocole, le sol se trouvant dans des conditions de sécheresse extrêmes, on peut écrire :

$$P_i(\infty) = C\theta_s + H_i \quad (11)$$

En pratique, pour déterminer H_i nous avons tout d'abord sélectionné les différentes averses satisfaisant à la condition (10) puis nous avons calculé la moyenne des valeurs de P_i correspondantes.

Pour obtenir α , il suffit d'utiliser les trois relations qui précèdent. Il vient :

$$\alpha t_a = \text{Log} \frac{P_i(\infty) - P_i(0)}{P_i(\infty) - P_i(t_a)} = f(t_a)$$

et l'on peut procéder graphiquement après avoir calculé les valeurs de la fonction $f(t_a)$ correspondant aux différents essais d'un protocole : le problème revient à déterminer au mieux la pente de la droite d'ajustement $f = \alpha t_a$.

La méthode étant la même pour toutes les parcelles, nous nous sommes contentés de reproduire ici le tableau de valeurs XXIX et les graphiques (fig 57 et 58) relatifs à la parcelle PNI.13.1. Pour celle-ci on a trouvé successivement :

$$\begin{aligned} P_i(\infty) &= 8,4 \text{ mm} \\ P_i(0) &= 1,13 \text{ mm} \\ 1/\alpha &= 110 \text{ heures} \end{aligned}$$

ce qui a permis de tracer la courbe de la figure 58 et de remplir la dernière colonne du tableau XXIX.

En procédant de la même façon pour les autres parcelles implantées sur sols naturels, nous avons pu calculer toutes les valeurs théoriques de P_i relatives aux différents essais sous averse de 60 mm/H. Ces valeurs ont été reportées sur le graphique de la figure 59 en regard des valeurs observées correspondantes, sans tenir toutefois compte de la première averse de chaque série d'essais pour laquelle P_i calculé est obligatoirement égal à P_i expérimental.

TABLEAU XXIX - PLUIE D'IMBIBITION SUR PNI-13-1.

Averse N°	t_a (Heures)	P_i observé (mm)	Sélection	$f(t_a)$	P_i calculé mm
1	∞	8,4	$P_i(\infty)$	∞	8,4
2	23,0	2,5		0,2088	2,5
3	0,32	1,2	$P_i(0)$	0,0096	1,15
4	7,03	2,0		0,1275	1,6
5	0,27	1,2		0,0096	1,15
6	15,75	1,6		0,0668	2,1
7	0,33	1,3		0,0237	1,15
8	0,33	1,2		0,0096	1,15
9	0,33	1,3		0,0237	1,15
10	0,33	1,3		0,0237	1,15
11	0,33	1,3		0,0237	1,15
12	0,35	1,3	$P_i(0)$	0,0237	1,15
13	0,33	1,2	$P_i(0)$	0,0096	1,15
14	3,25	1,5		0,0522	1,35
15	0,67	1,3		0,0237	1,2
16	0,67	1,3		0,0237	1,2
17	0,17	1,0	$P_i(0)$	- 0,0177	1,2
18	63,0	3,9		0,4797	4,3
19	0,5	1,5		0,0522	1,15
20	0,5	1,1	$P_i(0)$	- 0,0004	1,15
21	0,5	1,0	$P_i(0)$	- 0,0177	1,15
(22)	3,75	1,5		0,0522	1,4

Si l'on excepte le point correspondant à l'averse N° 6 sur BTG 32 au cours de laquelle des rafales de vent assez violentes ont probablement entraîné une sous-estimation de l'intensité et, par suite, de P_i , le graphique 59 montre que les écarts absolus entre P_i calculés et observés sont toujours inférieurs à 1 millimètre et que 85 % d'entre eux sont inférieurs à 0,5 millimètre. Cette remarque doit suffire à justifier les hypothèses sur lesquelles repose la relation (9).

4.1.2. Présentation et critique des résultats obtenus.

Afin de faciliter les comparaisons on a rassemblé dans le tableau XXX ci-après l'ensemble des résultats obtenus pour différents traitements. Ces résultats sont relatifs à des intensités d'averse voisines de 60 mm/H, sauf ceux qui concernent les traitements spéciaux (buttage et mulch) effectués sur BTG 32 et pour lesquels l'intensité était de 90 mm/H.

- Résultats obtenus en l'état naturel.

Les valeurs les plus fortes de $P_i(\infty)$ s'observent pour les sols dont la texture est la plus grossière en surface c'est-à-dire SPO.22 (12,1 mm sur sables) et PNI 12 (11,4 mm sur gravillons). La valeur la plus faible correspond au sol de PNI 11 qui comprend également une forte proportion de gravillons affleurant mais où les matériaux interstitiels sont particulièrement cohérents et peu poreux. Sur les autres parcelles on obtient des valeurs très voisines, de l'ordre de 8 à 9 mm, mais on notera cependant que sur BTG 32 une bonne partie de la pluie d'imbibition (8,9 mm) doit être absorbée par des fissures et qu'en l'absence de ces dernières P_i serait certainement très faible en raison de la texture fine du sol.

Dans l'ensemble on retiendra que toutes les hauteurs d'imbibition observées présentent la double caractéristique d'être à la fois très faibles et peu dispersées. Cette faiblesse apparaît de façon frappante lorsqu'on compare les résultats obtenus ici avec ceux que l'on obtient par exemple en Côte d'Ivoire où les pluies d'imbibition avoisinent couramment 50 mm sur sol sec dans les savanes du Centre et du Nord pour atteindre parfois une centaine de millimètres sous 60 mm/H en zones forestières. Ce double caractère est d'ailleurs encore plus marqué sur le paramètre $P_i(0)$ qui reste compris entre 1,5 et 2,5 mm quelle que soit la nature du sol et la même remarque s'applique, bien entendu, à l'amplitude des variations $P_i(\infty) - P_i(0)$.

Les valeurs du coefficient α sont également peu dispersées* et si l'on excepte SPO.22 où l'assèchement de la tranche superficielle semble être sensiblement moins rapide qu'ailleurs, la hauteur de pluie d'imbibition reprend généralement 80 % de sa valeur maximale une huitaine de jours après la saturation.

* Note : Pour PNI.11 et SPO.21 la détermination de α est imprécise car le protocole court adopté n'a pas permis de tester des durées de ressuyages supérieures à 24 H 00. Le tracé de la droite de régression $f = \alpha t$ ne repose que sur quelques points groupés au voisinage de l'origine.

TABLEAU XXX - PLUIE D'IMBIBITION sous 60 mm/H

Nature du traitement	Références	PNI.11	PNI.12	PNI.13	SPO.21	SPO.22	BTG.31	BTG.32	LBA.41
Parcelles à l'état naturel (sol non remanié)	$P_1(\infty)$ (mm)	5,4	11,4	8,4	8,5	12,1	-	8,9	8,7
	$P_1(0)$ (mm)	1,3	2,4	1,13	2,2	1,3	1,28	1,8	1,6
	$P_1(\infty) - P_1(0)$	4,1	10,0	7,3	6,3	10,8	-	7,1	7,1
	α (Heure ⁻¹ • 10 ³)	(23,3)	12,0	9,1	(9,7)	3,4	-	17,0	7,5
Sol labouré initialement sec	$P_1(\infty) -$ (mm)	14,8	>15,0	15,5	15,3	18,8	-	14,3	9,9 (15,2)
	$P_1(0) -$ (mm)	1,45	3,00	1,13	1,55	0,90	1,02	1,08	1,70
Sol labouré en humide.	P_1 (mm)	-	-	-	-	10,1	15,4	-	-
Buttage cloisonné	P_1 (mm)	-	12,8	20,1	-	-	-	12,8	15,7
		-	66,0	62,0	-	-	-	42,7	>73,0
Simple labour + paillis	P_1 (mm)	-	16,5	20,5	-	-	-	6,7	6,2
		-	51,0	52,0	-	-	-	30,9	>112,0

* Intensité de 90 mm/H pour cet essai.

On remarquera cependant que α varie en raison directe de la vitesse d'assèchement de la surface du sol et qu'il ne dépend donc pas seulement de la nature de cette dernière mais également, dans une large mesure, des caractères climatiques saisonniers. On peut par conséquent supposer que les valeurs prises par α pendant la saison des pluies sont probablement moins élevées, le pouvoir évaporant de l'atmosphère étant alors réduit.

- Résultats obtenus sur simple labour.

Sur PNI.12, une panne de moteur quelques minutes après le début de la première averse nous a contraint à interrompre l'essai avant le déclenchement du ruissellement sur la parcelle 2. La valeur de 15 mm donnée pour $P_i(\infty)$ est donc une approximation par défaut. D'autre part, sur LBA.41, nous avons noté deux valeurs de $P_i(\infty)$, la première de 9,9 mm correspond à l'apparition d'un ruissellement de très faible intensité localisé à l'aval de la parcelle tandis que la seconde de 15,2 mm représente véritablement la hauteur de pluie d'imbibition pour l'ensemble de la parcelle.

Ces remarques étant faites, on constate qu'après le labour les différents types de sols testés présentent des hauteurs de pluie d'imbibition remarquablement voisines, de valeur moyenne 15 mm. Le labour a pour effet d'augmenter de 5 à 10 mm la valeur de $P_i(\infty)$, tout au moins au cours de la première averse suivant le travail du sol en sec car, dès la deuxième averse, cet effet s'estompe et l'examen des tableaux de données de base fait ressortir que P_i reprend très rapidement des valeurs sensiblement égales à celles que l'on observe sur sol naturel. Il semble même qu'à la longue, et sur les sols dépourvus d'éléments très grossiers, le labour initial favorise un certain glaçage de la surface : les valeurs de $P_i(0)$ relevées sur labour ont dans l'ensemble tendance, en fin de protocole, à se trouver en dessous des valeurs correspondantes à l'état non remanié.

Enfin, sur SPO.22 et BTG.31 où des labours ont été mis en oeuvre sur des sols initialement très humides, on s'aperçoit que cette pratique permet d'augmenter la hauteur de pluie d'imbibition de 10 à 15 millimètres.

← Effet des traitements particuliers.

Ces traitements ont pour buts d'augmenter l'importance du stockage superficiel dans le cas du buttage, de favoriser l'interception et de limiter l'action battante des gouttes de pluie dans celui du mulching sur labour. Nous allons voir que ces buts sont atteints de façon satisfaisante au cours de la phase d'imbibition, mais à l'échelle de la parcelle on observe systématiquement avec notre dispositif des effets parasites de bordure au voisinage du canal récepteur qui se traduisent par des ruissellements localisés précoces et entraînent une diminution apparente de la hauteur de pluie d'imbibition. C'est pour cette raison qu'on trouvera deux valeurs de cette dernière dans le tableau XXX. La plus faible correspond à l'apparition du ruissellement parasite et la seconde est une approximation de la valeur moyenne vraie obtenue par extrapolation de la courbe en S des hydrogrammes.

Les chiffres obtenus montrent que le mulching aussi bien que le buttage cloisonné entraînent un gain considérable à l'infiltration pendant la phase d'imbibition. Ce gain semble d'ailleurs être d'autant plus élevé que la stabilité structurale du matériau superficiel est meilleure : dans le cas le plus favorable (paillis sur sol gravillonnaire labouré à faible pente de LBA.41) il dépasse 100 millimètres tandis que sur BTG.32 dépourvu d'éléments grossiers et comprenant une forte proportion d'argiles, la limite de liquidité est rapidement atteinte et le gain n'est plus que d'une trentaine de millimètres. Nous rappellerons cependant que ce dernier essai ayant eu lieu sous une intensité de 90 mm/H les comparaisons peuvent être en partie faussées car l'intensité de la pluie est probablement un facteur non négligeable dans les processus de dégradation des façons culturales.

Faute de temps nous n'avons malheureusement pas pu étudier à fond ce processus de dégradation et déterminer en particulier, comme dans le cas du simple labour, la vitesse de disparition des effets recherchés. D'après nos simples observations visuelles il apparaît cependant que ces effets sont durables et probablement quasi-permanents lorsqu'on a affaire à des sols gravillonnaires, mais qu'inversement leur existence est éphémère sur sols argileux.

4.2. La phase de vidange.

L'étude de cette phase peut paraître à première vue de peu d'intérêt. En effet, sur des parcelles de faibles dimensions, les vidanges ne mettent en jeu que des hauteurs de lame d'eau ruisselées ou infiltrées réduites, dépassant rarement 2 ou 3 millimètres ; elles interviennent donc relativement peu dans les bilans, surtout si les averses sont de longues durées. Il en irait cependant tout autrement sur des surfaces réceptrices de plus grandes dimensions, car au delà de quelques hectares, pour peu que le terrain présente des pentes atténuées, le temps de concentration n'étant plus négligeable en regard des durées d'averse, les volumes écoulés ou infiltrés globaux peuvent pour une part appréciable provenir de la vidange des réserves accumulées en surface. On tient donc là une première raison pour qu'on se préoccupe de cet aspect particulier du ruissellement.

Une deuxième raison réside dans le fait qu'avec l'effet "splash" des gouttes de pluie, les forces de cisaillement exercées par la lame d'eau en mouvement à la surface du sol sont les seuls agents responsables des phénomènes d'érosion. Or, pour la compréhension de ces derniers, l'étude de la phase de vidange est susceptible d'apporter des données de base précieuses, car elle permet, on le verra, d'évaluer la hauteur moyenne de cette lame d'eau et, dans une moindre mesure, sa répartition spatiale. D'autre part, l'expérience montre que si la hauteur moyenne de la lame d'eau en mouvement est en général effectivement très faible, ses variations dans le temps qui ont les dimensions d'une intensité peuvent par contre être relativement importantes en phase transitoire par rapport aux autres intensités. Dans ce domaine l'étude de la vidange présente également un grand intérêt puisqu'elle permet d'ébaucher la forme des relations liant la détention superficielle à l'intensité du ruissellement en fonction des caractéristiques du terrain.

Ce faisant, on s'aperçoit d'ailleurs que l'étude débouche sur quelques aspects nouveaux du rôle du sol, en particulier celui de sa morphologie superficielle, et conduit à la définition d'un paramètre supplémentaire pour caractériser celle-ci.

4.2.1. Détention superficielle récupérable - Exploitation directe des données expérimentales.

Avec la courbe de décroissance $R(T)$ et la durée de vidange T_F , la détention superficielle D_r est la seule caractéristique de la phase de vidange directement accessible aux mesures de terrain. C'est pour cette raison qu'on s'est attaché en premier lieu à son examen.

Etant donné qu'à l'occasion des premières campagnes de mesures qui portaient sur des types de sols très différents (LAFFORGUE et E. NAAH - 1976) nous avons mis en évidence une relation de proportionnalité entre la détention D_r et l'intensité de ruissellement maximale R_x à l'arrêt de la pluie, on a tenté de vérifier sa généralité en établissant les courbes de régression (D_r, R_x). Ces courbes ont été reproduites ici (figures 60 à 67) et confirment en effet une tendance à la proportionnalité qui peut s'exprimer par la relation

$$D_r = T_d \cdot R_x \quad (12)$$

relation qui définit un coefficient T_d caractéristique de la parcelle et ayant la dimension d'un temps, raison pour laquelle on le désignera sous le vocable "temps de détention de la parcelle". Ce coefficient intègre globalement un certain nombre de paramètres dont la pente topographique, la longueur de la parcelle, sa rugosité et sa perméabilité et il permet d'autre part d'accéder à une première formulation de la loi de vidange.

Pour cela, on pose en première approximation que la relation (12) établie en régime permanent d'écoulement reste valable pendant toute la durée de la vidange, ce qui revient à supposer que la détention superficielle est répartie à la surface de la parcelle selon un film uniforme dont l'épaisseur diminue également dans le temps de façon uniforme. Ces hypothèses sont tout à fait criticables d'un point de vue théorique, mais il se trouve que dans le cas de sols perméables et pour de faibles intensités de ruissellement, les résultats auxquels elles conduisent, fournissent une assez bonne approche du processus observé expérimentalement sans qu'on ait besoin de formuler explicitement d'hypothèses supplémentaires sur la loi de variation de l'infiltration.

Moyennant ces simplifications et en désignant par $D_r(\tau)$ la part de détention superficielle encore récupérable en cours de vidange après le temps τ , la relation (12) continuant à s'appliquer, on a :

$$D_r(\tau) = T_d R(\tau) \quad (13)$$

D'autre part, la pluie ayant cessé on a $I = 0$, ce qui permet de réduire l'équation de continuité (2) du paragraphe 3.1.1. à :

$$R(\tau) + F(\tau) + \frac{d D_m}{d \tau} + \frac{d S}{d \tau} = 0 \quad (14)$$

Et puisque, en outre, d'après la définition qui vient d'être faite de $D_r(\tau)$ on a à chaque instant :

$$\frac{d D_m}{d \tau} + F(\tau) + \frac{d S}{d \tau} = \frac{d D_r}{d \tau} \quad (15)$$

il vient finalement à partir de (14) et (15) et en dérivant (13) :

$R(\tau) + Td \frac{d R}{d \tau} = 0$, soit encore en intégrant cette deuxième équation entre 0 et τ :

$$R = R_x \cdot e^{-\frac{\tau}{Td}} \quad (16)$$

On obtient là une loi approchée de vidange exponentielle qui s'adapte d'autant mieux aux résultats expérimentaux que le sol est plus perméable. Elle présente l'avantage d'être utilisable, faute de mieux, lorsqu'on ignore tout des variations de l'infiltration sur la parcelle, mais elle ne rend aucun compte de la complexité des phénomènes réels.

4.2.2. Détention superficielle mobilisable et deuxième approche d'une loi de vidange.

En examinant plus attentivement l'ensemble des courbes de régression (D_r , R_x) on s'aperçoit que la tendance à la proportionnalité est généralement d'autant plus apparente que le sol de la parcelle est plus perméable. En effet, si l'on se reporte aux tableaux des caractéristiques de ruissellement, on peut constater que la relation (13) s'applique particulièrement bien par exemple à PNI.12, SPO.21.2 et SPO.22.2 où, principalement sur PNI.12, on a obtenu les valeurs de F_N les plus élevées. En revanche, pour des parcelles telles que PNI.11.1 ou PNI.13, les courbes de régression présentent une concavité qui apparaît assez nettement malgré la faiblesse des échantillons (courbes tracées en tiretés).

Cette remarque laissant supposer que la relation (12) n'est, à la limite, plus du tout valable dans le cas de terrains totalement imperméables, on a cherché à s'en assurer, aussi bien d'un point de vue théorique qu'à l'aide d'essais expérimentaux appropriés.

4.2.2.1. Cas des parcelles totalement imperméables.

En admettant que les lois d'écoulement en canaux découverts peuvent également s'appliquer au phénomène de ruissellement sous averse, on peut montrer (LAFFORGUE 1977) que dans le cas d'un sol plan et imperméable,

la détention superficielle mobilisable D_m et l'intensité de ruissellement en régime permanent R_x sont liés par une relation de la forme

$$D_m = A \cdot R_x^m \quad (17)$$

(voir note en bas de page)
avec évidemment dans ce cas particulier

$$D_m = D_r.$$

Il apparaît d'autre part que A est un coefficient ne dépendant que des caractéristiques de la parcelle (pente, longueur et rugosité) et m un exposant qui serait théoriquement égal à 0,6 si les formules de l'hydraulique classique s'appliquaient sans corrections.

En réalité, l'expérience a montré qu'en arrosant des parcelles imperméabilisées par des bâches et en observant les phases de vidange, on obtenait un ajustement très convenable de la relation (17) avec $m = 0,5$, l'utilisation de la valeur $m = 0,6$ conduisant à des formes de courbes trop redressées (voir fig. 68).

4.2.2.2. Cas de parcelles perméables mais planes.

Il n'y a aucune raison pour que la relation liant D_m et R_x soit modifiée par le fait que le sol n'est plus imperméable. On va donc encore une fois chercher à intégrer l'équation de continuité avec les réserves que l'on connaît concernant l'uniformité de la décroissance de D_m . Cependant, l'équation (2) contenant cette fois le terme $F(\tau)$, on est obligé d'émettre une hypothèse sur la loi d'infiltration. Pour simplifier on se placera dans l'éventualité où le régime permanent est atteint au moment de l'arrêt de la pluie, cette condition étant d'ailleurs très fréquemment remplie lors des essais.

On émet en outre l'hypothèse que l'intensité moyenne de l'infiltration conserve sa valeur d'origine F_N pendant toute la durée de la vidange. Cela revient à dire que, le sol étant plan, la totalité de la surface de la parcelle demeure recouverte d'un film d'eau jusqu'à l'arrêt complet de l'écoulement à l'exutoire. Cette hypothèse n'est pas tout à fait conforme à la réalité car vers la fin de la vidange, on observe une disparition du ruissellement qui ne touche pas simultanément tous les points de la surface, mais s'effectue progressivement de l'amont vers l'aval. On fait donc là une nouvelle approximation qui limite sans doute la portée des conclusions auxquelles on va parvenir dans le cas des parcelles planes, mais, on verra au paragraphe suivant que cette approximation n'entrave pas le raisonnement qu'on est conduit à tenir dans le cas général.

En faisant les mêmes réserves qu'au paragraphe 4.2.1. lorsqu'on a établi la relation (13), si l'on part de (17), on peut écrire qu'à un instant quelconque de la vidange on a :

$$D_m(\tau) = A R_m^m(\tau)$$

Note : l'exposant m de R_x^m n'a, bien entendu, aucun rapport avec l'indice m de D_m .

soit en dérivant par rapport au temps :

$$\frac{d D_m}{dt} = m A R^{m-1} \frac{dR}{dt}$$

qui devient avec $m = 0,5$:

$$\frac{d D_m}{d\tau} = \frac{A}{2\sqrt{R}} \frac{dR}{d\tau}$$

et l'équation de continuité se réduit à :

$$R + \frac{A}{2\sqrt{R}} \frac{dR}{dt} = -F_N \quad (18)$$

équation qui s'intègre sans difficulté entre les temps 0 et τ par le changement de variable $\sqrt{R} = u$.

On a en effet :

$$\left[-\frac{A}{\sqrt{F_N}} \operatorname{arctg} \frac{u}{\sqrt{F_N}} \right]_{\sqrt{R_x}}^{\sqrt{R}} = \left[t \right]_0^{\tau} \quad \text{soit}$$

$$\operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R_x}{F_N}} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R}{F_N}} = \frac{\sqrt{F_N}}{A} \tau \quad (19)$$

Il en résulte que la phase de vidange a, cette fois, une durée finie que l'on obtient pour $R = 0$:

$$\tau_f = \frac{A}{\sqrt{F_N}} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R_x}{F_N}} \quad (20)$$

Par ailleurs en exprimant R en fonction de τ à partir de l'équation (19), on a :

$$R = F_N \left(\frac{\sqrt{\frac{R_x}{F_N}} - \operatorname{tg} \frac{\sqrt{F_N}}{A} \tau}{1 + \sqrt{\frac{R_x}{F_N}} \operatorname{tg} \frac{\sqrt{F_N}}{A} \tau} \right)^2 \quad (21)$$

loi de ruissellement qui peut s'écrire de façon plus condensée en utilisant (20) :

$$R = F_N \operatorname{tg}^2 \frac{\sqrt{F_N}}{A} (\tau_f - \tau) \quad (22)$$

On remarquera enfin que la relation (20) fournit avec nos hypothèses l'expression de la hauteur de la lame d'eau infiltrée pendant la vidange :

$$W_F = F_N \quad l_f = A\sqrt{F_N} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R_x}{F_N}} \quad (23)$$

ainsi que la détention superficielle disponible pour le ruissellement :

$$D_r = D_m - W_f = A \left(\sqrt{R_x} - \sqrt{F_N} \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R_x}{F_N}} \right) \quad (24)$$

L'examen de cette dernière relation fait apparaître des propriétés intéressantes permettant de légitimer l'équation de régression (13) obtenue expérimentalement. On a en effet en dérivant D_r par rapport R_x :

$$\left(\frac{\partial D_r}{\partial R_x} \right)_{F_N} = \frac{A\sqrt{R_x}}{2(F_N + R_x)} \quad \text{puis}$$

$$\left(\frac{\partial^2 D_r}{\partial R_x^2} \right)_{F_N} = \frac{A(F_N - R_x)}{4\sqrt{R_x}(F_N + R_x)^2}$$

Les expressions de ces dérivées successives montrent que pour une capacité d'infiltration finale donnée, la fonction $D_r(R_x)$ est croissante avec une inflexion pour $R_x = F_N$, soit pour $D_r = A \left(1 - \frac{\pi}{4} \right) \sqrt{F_N}$.

La présence d'un point d'inflexion dans une telle région de la courbe entraîne que, pour les valeurs de I et de R_x les plus couramment observées, le graphe de $D_r(R_x)$ s'écarte très peu d'une droite passant par l'origine. Afin de visualiser cette remarque, on a tracé sur la figure 69 les courbes représentatives de $\frac{1}{A} D_r(R_x)$ et de $\frac{1}{A} \frac{dD_r}{dR_x}$ dans l'intervalle $0 < R_x < 100$ mm/H et pour des valeurs élevées de F_N (20, 30, 40 et 60 mm/H), correspondant à des sols assez perméables ou très perméables. Il apparaît bien sur ces courbes que d'une part la relation $D_r(R_x)$ est pratiquement, pour de tels sols, une relation de proportionnalité et que, d'autre part, pour des valeurs de R_x supérieures à une dizaine de millimètres par heure, le coefficient de proportionnalité est une fonction décroissante de la perméabilité du sol.

4.2.2.3. Cas général des sols perméables mais non plans.

Il ressort de l'examen des courbes $D_m(R_x)$ (fig. 75) ou $D_r(R_x)$ (fig. 60 à 67) que la détention superficielle ne dépasse pas quelques millimètres.

Il apparaît donc évident que dans la plupart des situations réelles, même si la parcelle paraît bien plane, la hauteur moyenne de détention

est du même ordre de grandeur que celle des dénivellations introduites par les aspérités du sol. Il en résulte que l'eau libre en mouvement ne peut jamais être répartie idéalement de façon uniforme mais qu'elle circule en majeure partie entre ces aspérités selon un chevelu de drains plus ou moins ténus dont la configuration et la densité dépendent de la nature du sol, de la couverture végétale, ainsi que de l'historique des événements érosifs antérieurs ayant modelé la surface.

Les conséquences sur le mode d'infiltration sont importantes, car les phénomènes auxquels on assiste sont très différents selon qu'on les observe pendant ou après la pluie. On a tenté de montrer cette différence (figures 70 a et b) en schématisant dans les deux cas l'aspect de la surface mouillée sur une coupe transversale partielle de parcelle quelconque :

- Pendant la pluie, si l'on suppose que le sol est homogène, lorsque le palier d'infiltration est atteint, un film d'eau d'épaisseur variable est entretenu par la redistribution des gouttes sur toute la largeur ℓ du profil et, si l'intensité de la pluie est suffisamment élevée, on peut admettre qu'en tous les points du profil l'intensité d'infiltration est égale à la valeur moyenne F_N .

- En revanche, dès l'instant qui suit l'arrêt de la pluie, le film est rompu et disparaît très rapidement des régions les plus élevées du profil, ce qui diminue de façon assez brutale la proportion de surface ω offerte à l'infiltration. En effet, si l'on désigne par ℓ_i la largeur de la surface libre sur l'un des n drains du profil, en un temps très court ϵ , ω passe de la valeur $\omega(0) = 1$ à la valeur $\omega(\epsilon) = \sum_1^n \ell_i(\epsilon)/\ell$ qui peut être très faible.

Dès lors, pendant la phase de vidange, pour $\tau > \epsilon$, la valeur de l'infiltration moyenne instantanée n'est plus que

$$F(\tau) = F_N \cdot \omega(\tau)$$

et l'équation de continuité (18) établie dans le cas d'un sol plan devient pour un sol quelconque et dans l'hypothèse où la valeur du stockage S reste constante :

$$R(\tau) + \frac{A}{2\sqrt{R(\tau)}} \frac{dR}{d\tau} + F_N \omega(\tau) = 0 \quad (25)$$

Ce phénomène se superpose à celui qui a déjà été décrit au paragraphe précédent et se trouve représenté par le graphique (C) de la figure 70. Ce n'est pas une vue de l'esprit et l'on observe très bien sur le terrain, cette décroissance relativement lente de ω lorsque tout le ruissellement est concentré dans le réseau de drainage.

Pour intégrer commodément l'équation (25) on peut donc admettre qu'à peu de choses près, tout se passe comme si l'infiltration conservait une valeur constante égale à la moyenne ωF_N , ce qui conduit à définir un

pourcentage moyen de superficie offerte à l'infiltration pendant la vidange :

$$100 \bar{\omega} = \frac{100}{\tau_f} \int_0^f \omega(t) dt.$$

On peut remarquer que ce nouveau paramètre $\bar{\omega}$ dépend essentiellement de la morphologie de la parcelle, mais aussi, dans une moindre mesure, de l'importance du remplissage initial des drains, donc de l'intensité de ruissellement maximale R_x .

Avec l'approximation qui vient d'être faite, toutes les relations dérivées de l'équation (25) s'obtiennent aisément comme dans le cas d'une parcelle plane : il suffit de remplacer F_N par $\bar{\omega} F_N$ et en particulier la relation (24) devient :

$$D_r = A \left(\sqrt{R_x} - \sqrt{\bar{\omega}} F_N \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R_x}{\bar{\omega} F_N}} \right) \quad (26)$$

Cette nouvelle expression de la détention superficielle récupérable va permettre de déterminer successivement les paramètres A et $\bar{\omega}$ à partir des données expérimentales. En effet, on a formellement :

$$A = \frac{D_r}{\sqrt{R_x} - \sqrt{\bar{\omega}} F_N \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{R_x}{\bar{\omega} F_N}}}$$

et si l'on pose par ailleurs que pour une parcelle donnée A est une constante indépendante de R_x , F_N et $\bar{\omega}$, on peut obtenir sa valeur en recherchant la limite de l'expression ci-dessus lorsque F_N tend vers zéro, cette limite étant égale à $\frac{D_r}{\sqrt{R_x}}$ donc indépendante de $\bar{\omega}$.

En pratique, il est commode de procéder graphiquement de la façon qui suit :

- 1 - En utilisant la formule ci-dessus, on calcule successivement pour chacun des essais relatifs à une parcelle, les valeurs A_i de A relatives d'une part à $\bar{\omega} = 0$ et d'autre part à $\bar{\omega} = 1$ et on les reporte sur un graphique (voir figure 71) en fonction des valeurs de F_N correspondantes.
- 2 - Disposant ainsi de deux distributions de points qui convergent sur l'axe des ordonnées, il suffit pour obtenir A , de déterminer le point d'intersection des courbes de régression $[F_N, A_i(0)]$ et $[F_N, A_i(1)]$.

- 3 - Connaissant A, il reste à rechercher par approximations successives et pour chaque essai la valeur de ω qui satisfait à la relation (26). Lorsqu'on ne dispose pas de moyens de calcul rapide, on peut se contenter de déterminer par tâtonnements quelques valeurs de ω par série d'essais, puis, à partir de la moyenne ainsi obtenue on calcule à l'aide de (26) les valeurs de A ($\bar{\omega}$) relatives aux autres essais afin de vérifier graphiquement que la dispersion est acceptable.

On reproduit ci-après à titre d'exemple les tableaux de résultats (XXXI) ainsi que les graphiques (fig. 71) utilisés sur deux parcelles dont les plages de perméabilité sont nettement différentes.

Ces exemples n'ont pas été choisis pour la qualité des régressions obtenues, mais plutôt pour mettre en relief les difficultés auxquelles on peut se heurter dans les cas extrêmes : pour un sol assez peu perméable (PNI.11) la dispersion est généralement forte, car l'erreur relative sur F_N est importante ; en revanche le point de convergence s'obtient sans peine, car on dispose généralement de nombreuses observations dans son voisinage. Inversement, si les perméabilités sont très fortes (PNI.12) la plupart des points sont éloignés du lieu de convergence et pour éviter une extrapolation hasardeuse, on voit qu'on a tout intérêt dans ce cas à mettre en oeuvre une fin de protocole comportant des séries d'averses très rapprochées de sorte que le sol atteigne en profondeur des taux d'humidité élevés qui correspondent à des valeurs de F_N faibles.

4.2.3. Présentation, critique et examen des résultats.

Les résultats ont été rassemblés dans le tableau XXXII où figurent les valeurs obtenues pour A, $\bar{\omega}$ et T_d ainsi que les pentes topographiques des parcelles.

Les méthodes exposées plus haut ont pu être appliquées à toutes les parcelles à l'exception de PNI.12.2 : le sol gravillonnaire de cette dernière a été rendu entièrement perméable par le labour, n'a pu être saturé, et la plage des valeurs observées pour F_N est restée insuffisante pour une détermination satisfaisante de A. Il faut également noter que le résultat $\bar{\omega} = 10\%$ fourni pour les deux parcelles BTG.32 est très imprécis en raison de dispersions anormales dans les régressions graphiques $[A(\omega), F_N]$.

Nous attribuons cette dispersion importante à des circulations parasites entre l'enceinte des parcelles proprement dites et l'anneau de garde, ces circulations incontrôlables s'effectuant sous les bordures par l'intermédiaire des fentes de retrait du sol. Bien que cela n'apparaisse pas de façon aussi nette, il est probable que le même phénomène se soit produit sur BTG.31 dont le sol est lui aussi entaillé par de profondes fentes de retrait.

TABLEAU XXXI

Recherche de A et $\bar{\omega}$ sur PNI.11.1 et PNI.12.1

PNI.12.1

PNI.11.1

N°	R _{x(1)}	F _N	D _r	A(0)	A(1)	A(0,25)	D _m
1	-	-	-	-	-	-	-
2	8,0	52,9	0,4	0,14	3,04	0,94	2,66
3	7,5	50,6	0,3	0,11	2,40	0,74	2,03
4	8,0	51,6	0,3	0,11	2,23	0,63	1,95
5	8,5	52,0	0,3	0,10	2,06	0,65	1,90
6	12,0	49,6	0,4	0,11	1,63	0,55	1,91
7	8,5	49,9	0,3	0,10	1,98	0,63	1,84
8	9,0	50,2	0,4	0,13	2,46	0,78	2,34
9	11,5	48,8	0,5	0,15	2,13	0,71	2,41
10	(19,5)	41,8	0,8	0,18	1,47	0,58	2,56
11	(20,0)	41,0	1,0	0,22	1,76	0,69	3,09
12	(19,0)	40,8	1,1	0,25	2,06	0,80	3,49
13	(26,0)	34,0	1,3	0,25	1,43	0,64	3,36
14	(25,0)	94,7	1,4	0,28	1,64	0,72	3,60
15	(18,5)	42,0	1,0	0,23	1,98	0,77	3,31
16	(31,0)	30,9	1,9	0,32	1,50	0,72	4,01
17	7,0	51,8	0,3	0,11	2,71	0,82	2,17
18	10,5	49,6	0,5	0,15	2,45	0,80	2,59
19	(17,0)	42,2	0,8	0,19	1,78	0,67	2,76
20	(21,0)	38,8	1,3	0,28	2,06	0,84	3,85
21	(17,0)	42,3	1,2	0,29	2,67	1,01	4,16
22	(27,0)	32,8	1,6	0,31	1,63	0,75	3,90
23	5,5	23,4	0,4	0,17	2,47	0,83	1,95
24	16,5	43,6	1,4	0,34	3,32	(1,24)	(5,04)
25	(51,0)	33,5	3,0	0,42	1,51	0,81	5,7
26	(70,5)	44,3	4,2	0,50	1,74	0,95	7,98

R _{x(1)}	F _N	D _r	A(0)	A(1)	A(0,05)	D _m
43,0	16,4	1,6	0,24	0,65	0,30	1,97
47,0	12,4	1,6	0,23	0,53	0,28	1,92
51,0	7,9	1,6	0,22	0,42	0,26	1,86
51,0	8,3	1,6	0,22	0,43	0,28	2,00
57,0	2,2	1,9	0,25	0,35	0,27	2,04
47,0	11,1	2,1	0,31	0,67	(0,36)	(2,50)
(57,0)	0,9	1,9	0,25	(0,31)	0,26	1,96
52,0	4,7	2,0	0,28	0,45	0,31	2,24
(55,5)	1,2	1,8	0,24	0,31	0,25	1,86
(53,5)	3,8	1,9	0,26	0,40	0,28	2,05
(56,0)	1,4	2,3	0,31	0,39	0,32	2,39
(57,5)	1,3	2,2	0,29	0,37	0,31	2,35
(56,5)	3,1	2,3	0,31	0,45	0,33	2,48
(58,0)	1,4	2,4	0,31	0,40	0,33	2,51
23,0	5,9	(1,2)	0,25	0,62	0,30	1,44
(44,0)	13,9	1,6	0,24	0,59	0,29	1,92
(71,5)	8,9	2,2	0,26	0,46	0,30	2,54
92,5	10,7	2,5	0,26	0,45	0,29	2,79

PNI.11.1 : $\bar{A} = 0,290$

$\bar{\omega} = 0,05$

PNI.12.1 : $\bar{A} = 0,724$

$\bar{\omega} = 0,25$

(1) - Les chiffres entre parenthèses correspondent soit à des valeurs peu précises (vent) soit à des paliers de ruissellement non atteints.

Tableau XXXII - Valeur des paramètres caractéristiques de la phase de vidange pour les différentes parcelles testées.

		PNI.11	PNI.12	PNI.13	SPO.21	SPO.22	BTG.31	BTG.32	LBA.41
Sol en l'état naturel (parcelle 1)	pente i (%)	7,5	2,6	0,9	4,2	2,6	0,9	0,6	1,4
	A (mm.H) ^{1/2}	0,29	0,72	0,28	0,22	0,15	0,50	0,72	0,29
	ω (%)	5	25	2	2	1	10	(10)	20
	T_d (Heure)	0,0354	0,0558	0,0364	0,0276	0,020	0,060	0,085	0,026
Sol préalablement labouré (parcelle 2)	A	0,21	-	0,25	0,22	0,14	0,59	0,46	0,29
	ω (%)	11	-	0,5	9	4	10	(10)	10
	T_d	0,0232	0,0262	0,0329	0,239	0,0164	0,062	0,059	0,0345

Nous avons contrôlé par sondages au sein de chaque série d'essais les valeurs de A et ω relatives aux parcelles autres que BTG.31 et 32. Pour cela nous avons construit les courbes thoriques de vidange (équation (21) où l'on remplace F_N par ωF_N) et nous les avons comparées aux courbes expérimentales (voir fig. 72). Ces contrôles ont montré que dans l'ensemble la coïncidence était satisfaisante et justifie l'interprétation ainsi que les approximations du paragraphe 4.2.2.

L'examen du tableau XXXII montre qu'il existe une correspondance étroite entre les valeurs de A et celles de T_d . Il fallait s'y attendre puisque l'un et l'autre de ces paramètres traduisent la résistance qu'oppose la surface du sol à l'écoulement (pente topographique, nature et texture du revêtement superficiel), T_d intégrant en plus l'effet de la perméabilité.

Pour mettre en évidence les influences respectives des deux premiers facteurs (pente et matériaux superficiels), nous avons porté en figure 73 les valeurs de A obtenues sur labour en fonction de la pente.

Aux sept valeurs sûres dont nous disposons pour les sols étudiés ici, nous avons ajouté quelques résultats provenant d'autres campagnes d'essais effectués en Côte d'Ivoire (Centre d'Adiopodoumé et bassins versants de SAKASSOU). De cette façon l'échantillonnage est suffisant pour qu'on puisse tracer une courbe enveloppe d'allure hyperbolique qui passe par tous les points correspondant à des sols nus à texture fine ou très fine (de sablo-argileux comme SFS.22 ou ADE à argileux comme BTG.32) et l'on notera que l'ensemble des points situés au-dessus de cette courbe correspond à des sols comportant soit une proportion notable de gravillons affleurant (PNI.11, PNI.12, LBA.41 et SPO.21), soit une couverture végétale très dense au contact du sol (ADE.1 et ADE.10). Ces quelques résultats expérimentaux confirment donc bien le fait que la résistance qui s'oppose au ruissellement diminue avec la pente topographique et augmente avec la rugosité, la présence d'éléments grossiers sur un sol nu ayant à cet égard un effet presque aussi important que celui d'un couvert végétal.

Le tableau XXXII montre également que, contrairement à ce qu'on observe généralement sur des sols pourvus initialement d'une végétation abondante, les valeurs de A obtenues en Haute-Volta sont très peu affectées par le labour : sur ces sols naturellement dénudés ou recouverts d'une très maigre végétation, dès la première averse notable suivant le labour, la rugosité reprend soit une valeur comparable à sa valeur initiale, soit même parfois une valeur légèrement inférieure lorsque le labour a eu pour effet indirect de permettre le lissage de la surface du sol par la pluie.

Quant aux valeurs obtenues pour $\bar{\omega}$, elles sont encore trop peu nombreuses pour qu'on puisse tirer des conclusions générales. Il apparaît seulement que la superficie moyenne offerte à l'infiltration après l'arrêt de la pluie est beaucoup plus faible sur les sables (moins de 6 %) que sur les sols à affleurements de gravillons (de 15 à 25 %) : il semble que les textures superficielles fines favoriseraient la concentration du ruissellement en rigoles tandis que les textures grossières auraient tendance à diffuser les écoulements de surface, favorisant ainsi des formes de ruissellement en nappe. L'influence de la pente dans ce domaine n'est certainement pas non plus négligeable, mais il faudrait disposer de données plus nombreuses pour qu'elle puisse être mise en évidence sans ambiguïté. La même remarque est à faire pour ce qui concerne l'effet du labour, celui-ci n'apparaissant pas, pour le moment, de façon nette.

4.3. La phase de régime transitoire.

On se souvient que le ruissellement instantané observé à un instant de cette phase résulte de la superposition de trois phénomènes variables dans le temps : variation de l'intensité d'infiltration, du stockage superficiel définitif et de la détention superficielle mobilisable. Ces deux derniers phénomènes étant également variables dans l'espace, on voit que cette phase est particulièrement complexe et qu'il serait hors de propos de vouloir en aborder ici l'étude détaillée.

On se bornera donc dans le présent paragraphe à exposer puis à appliquer une méthode pratique d'interprétation des données de terrain permettant d'évaluer quantitativement un petit nombre de paramètres sélectionnés pour modéliser les variations de la capacité d'infiltration du sol.

On rappelle que dans le cas général la capacité d'infiltration décroît au cours d'une averse depuis une valeur initiale F_0 relativement élevée jusqu'à une valeur minimale F_N et que de nombreux auteurs se sont attachés à rendre compte analytiquement de la loi de décroissance de l'infiltration entre ces valeurs. La plupart des expressions établies sont bien vérifiées dans certains types d'expériences de laboratoire réalisées sur des colonnes de sol mais, en pratique, il ressort des essais d'ajustement de ces différentes formules aux données de terrain que les meilleurs résultats sont généralement fournis par la loi exponentielle de HORTON. Avec les notations habituelles, cette loi s'écrit :

$$F(t) = F_N + (F_0 - F_N)e^{-kt} \quad (27)$$

où k est une constante pour des conditions initiales données et t le temps écoulé depuis le début de la pluie.

Etant donné la souplesse de la formule et les ajustements satisfaisants auxquels elle conduit le plus souvent dans le cas de sols uniformes, on se propose dans ce qui suit de dégager une méthode de calcul des paramètres F_0 et k puis d'appliquer cette méthode aux données de ruissellement dont nous disposons.

4.3.1. Méthode de calcul des paramètres de HORTON.

F_N étant connu expérimentalement, il suffit de deux équations pour obtenir les valeurs de F_0 et k . Pour les établir nous allons utiliser la forme intégrale de l'équation (27) et exprimer en fonction des paramètres de HORTON les hauteurs des lames d'eau W_i et W_u qui se sont respectivement infiltrées aux temps t_u et t_i ; puis nous calculerons ces mêmes hauteurs à partir des données expérimentales. Selon la valeur de l'intensité de la pluie on examinera successivement deux cas de figure.

1°) L'intensité de la pluie est relativement élevée ($F_N < F_0 \leq I$)

L'intégration de la loi de HORTON (27) entre les temps 0 et t permet d'exprimer la hauteur de la lame d'eau infiltrée à un instant quelconque depuis le début de la pluie. On a en effet :

$$W(t) = \frac{F_0 - F(t)}{k} + F_N \cdot t \quad \text{soit encore, puisqu'on opère à intensité d'arrosage constante :}$$

$$W(t) = \frac{F_0 - F(t)}{k} + \frac{F_N}{I} P(t) \quad (28)$$

A l'arrêt de la pluie on a donc :

$$W_u = \frac{1}{k} (F_o - F_N) + \frac{F_N}{I} P_u \quad (29)$$

et au début du ruissellement :

$$W_i = \frac{1}{k} (F_o - F_i) + \frac{F_N}{I} P_i \quad (30) \text{ avec :}$$

$$F_i = F_N + (F_o - F_N) e^{-kP_i/I} \quad (31)$$

Par ailleurs, d'après la figure 74-b, on a :

$$W_i = P_i - S_i \quad (32)$$

Quant à la valeur de W_u on peut également l'obtenir par bilan puisqu'on connaît la lame d'eau ruisselée au temps t_u : $L_u = L - D_r$ ainsi que la lame d'eau stockée en surface et qui est égale à $S_i + D_m$ si l'on considère que S_m est négligeable. Dans ces conditions il vient :

$$W_u = P_u - (L - D_r + S_i + D_m) \quad (33)$$

et finalement, en éliminant W_u et W_i entre respectivement (29) et (33) puis (30) et (32) et en utilisant pour simplifier les écritures la différence ΔW entre la lame d'eau réellement infiltrée W_u et la lame d'eau qui se serait infiltrée si le sol avait été saturé dès le départ, on obtient le système suivant :

$$I \quad \left(\begin{array}{l} k (P_i \frac{R_x}{I} - S_i) = F_o - F_i \end{array} \right) \quad (34) \text{ et}$$

$$\left(\begin{array}{l} k \cdot \Delta W = F_o - F_N \end{array} \right) \quad (35)$$

avec, précisons-le :

$$\Delta W = P_u \frac{R_x}{I} - L + D_r - S_i - D_m \quad (36)$$

En éliminant F_o entre (34) et (35) puis en utilisant (31) pour éliminer F_i , il vient :

$\Delta W + S_i - \frac{P_i R_x}{I} = \Delta W e^{-k \frac{P_i}{I}}$, soit finalement les solutions recherchées :

$$k = \frac{I}{P_i} \text{Log} \frac{\Delta W}{\Delta W - \frac{P_i R_x}{I} + S_i} \quad (37)$$

$$\text{et } F_o = F_N + k \Delta W \quad (35)$$

avec pour conditions de définition de (37) :

$$0 < P_i R_x - I S_i < I \cdot \Delta W. \quad (38)$$

2°) L'intensité de la pluie est relativement faible ($F_N < I < F_o$)

Alors que dans le cas précédent les flaques apparaissent sur le sol dès le début de l'averse, elles n'apparaissent cette fois qu'au bout d'un temps $t_p = \frac{P_p}{I}$ qui représente une inconnue supplémentaire car il est très délicat d'évaluer sur le terrain un temps t_p moyen. Cependant, si l'on étudie la figure 74-C, on s'aperçoit que le problème peut être traité de la même façon que ci-dessus en considérant une averse fictive qui débiterait au temps t_p sur un sol également fictif qui aurait une infiltrabilité initiale $F_o = F_p = I$. On est ainsi ramené au cas de la figure 74-b et les relations (35), (37) et (38) demeurent valables à condition de substituer respectivement $(P_u - P_p)$ à P_u , $(P_i - P_p)$ à P_i , I à F_o et $(\Delta W - P_p R_x / I)$ à ΔW .

C'est ainsi que les équations (37) et (35) se transforment en :

$$\text{II } \left(\begin{array}{l} k = \frac{I}{P_i - P_p} \text{Log} \frac{\Delta W - P_p R_x / I}{\Delta W - P_i R_x / I + S_i} \\ I = F_N + k (\Delta W - P_p \frac{R_x}{I}) \end{array} \right. \quad (39) \text{ et } (40)$$

avec comme relation supplémentaire :

$$I = F_N + (F_o - F_N) e^{-k P_p / I} \quad (41)$$

et la condition (38) restant inchangée.

Les valeurs de k et P_p peuvent donc être obtenues par la résolution du système N° II mais on remarquera que cette fois les inconnues ne peuvent pas être explicitées, ce qui conduit à une résolution graphique ou par itérations.

On peut par exemple rechercher tout d'abord P_p en éliminant k entre (39) et (40), ce qui donne :

$$y_1 = \frac{R_x (P_i - P_p)}{I \Delta W - P_p R_x} = \text{Log} \frac{I W - P_p R_x}{I \Delta W - P_i R_x + I S_i} = y_2 \quad (42),$$

équation implicite qui peut être résolue facilement en recherchant le point d'intersection des deux courbes $y_1 (P_p)$ et $y_2 (P_p)$.

4.3.2. Application aux données expérimentales.

Pour pouvoir appliquer la méthode qui vient d'être exposée, on a tout d'abord besoin de connaître la valeur du stockage superficiel par flaques S_i . Or, cette valeur peut être obtenue aisément si l'on se place dans le cas d'un sol saturé au début de l'arrosage : elle est donnée par l'aire du rectangle doublement hachuré sur le graphique de la figure 74-a, soit :

$$S_i = P_i \frac{R_x}{I} \quad (43)$$

On voit donc qu'à partir des données expérimentales il est possible de déterminer la valeur du stockage superficiel à condition d'avoir inclus dans le protocole d'essais une ou plusieurs successions d'averses très rapprochées à même intensité. On constate ainsi que la pluie d'imbibition tend vers une limite inférieure H_i définie par la relation (7), ce qui permet de déterminer S_i par (43).

En pratique (voir tableau XXIX relatif à PNI.13.1) on sélectionne les essais correspondant à des temps d'arrêt t_a faibles et ayant donné lieu à des observations de bonne qualité (absence de vent) ; puis, pour chacun d'entre eux on applique la relation (43) après avoir effectué la correction de retard signalée au paragraphe 4.1.1 (voir figure 56). On obtient ainsi une série de résultats permettant d'encadrer de façon satisfaisante la valeur exacte de S_i : c'est ainsi que dans l'exemple de PNI.13 on peut considérer que S_i est compris entre 0,6 et 1,0 mm.

De cette façon on dispose de tous les éléments nécessaires pour la résolution du système n° I. Si la valeur de F_0 calculée pour un essai est inférieure à celle de I , le problème est résolu, mais, dans le cas contraire on doit alors faire appel au système n° II. On remarquera à cette occasion que, la résolution de ce dernier étant assez laborieuse lorsqu'on ne dispose pas de moyens de traitement automatique, il est préférable de mettre en oeuvre une méthode de calcul approché beaucoup plus maniable qui a été décrite par ailleurs (LAFFORGUE 1977 et 1978).

Toutefois, pour la présente étude on a pu procéder aux calculs exacts en utilisant un programme FORTRAN qui effectue essai par essai les différentes démarches qui viennent d'être décrites : détermination de la plage de variation de S_i , calcul de D_m et de ΔW , résolution du système I et éventuellement celle du système II. On verra également en consultant les sorties d'imprimante relatives aux six premières averses sur PNI.13.1 (voir tableaux XXXIII à XXXV) que le même programme fournit les valeurs des capacités d'infiltration et de ruissellement pour des temps présélectionnés, ce qui facilite en particulier le tracé des courbes d'infiltration.

4.3.3. Limites de la méthode et résultats obtenus.

Comme on vient de le voir, la méthode ne peut être appliquée que si l'on est capable d'évaluer le stockage superficiel S_i et il est bien évident que cette évaluation ne peut être faite (saturation du sol de la parcelle) que dans l'éventualité où S_i est une caractéristique de la parcelle, invariable d'un essai à l'autre. Une première limite du champ d'application de la méthode apparaît donc pour des sols à structure non stabilisée comme ceux des parcelles fraîchement labourées. En effet, tout au long des premières averses, la tranche superficielle de ces sols ne cesse d'évoluer (destruction des mottes, compactage, aplanissage, constitution d'une croûte superficielle, etc ...) et la valeur de S_i diminue généralement d'une averse à l'autre tant qu'une certaine stabilité morphologique et structurale n'est pas atteinte. Pour cette raison on n'a pas tenté de rechercher les paramètres de la loi d'infiltration sur les parcelles labourées ou ayant subi des traitements culturels particuliers.

Une deuxième limitation apparaît encore dans certains cas pour des sols naturels pouvant être considérés comme stabilisés. On a reproduit par exemple en figure 75 quatre des six hydrogrammes obtenus sur la parcelle PNI.12.1 au cours du train d'averses HYD.312. Cette figure met en évidence une déformation progressive et anormale des hydrogrammes à mesure que le sol s'humidifie en profondeur : les deux premiers hydrogrammes du train diffèrent par la valeur de la pluie d'imbibition et celle du palier de ruissellement mais leur aspect général est semblable à celui qui a été décrit en figure 26 ; en revanche l'aspect des deux autres hydrogrammes ne correspond plus au schéma général. En effet, soit après un palier de durée très courte (HYD.312-), soit après un pseudo-palier (HYD.312-f) se traduisant par un simple point d'inflexion sur l'hydrogramme, on observe une recrudescence du ruissellement qui, si on prolongeait l'averse, aboutirait à un second palier de valeur beaucoup plus élevée que le précédent. Des formes d'hydrogrammes très voisines de celles que nous venons de décrire sont également observables sur les parcelles BTG.31 et BTG.32 pour lesquelles les phases transitoires de ruissellement présentent souvent une double inflexion comme sur l'hydrogramme de HYD 312-f.

Dans l'un et l'autre cas ces anomalies peuvent s'expliquer :

PARCELLE PNI 13-1. RECHERCHE DES PARAMETRES FO, FN ET K DE LA LOI D'INFILTRATION DE HORTON.

-AVERSE NO 1 DU 27/ 3/75 A RM38 REFERENCE EHU 113 , RUISSELLEMENT NO 1. TA > 5 MOIS.

*****SYSTEME NO 1*****;*****SYSTEME NO 2*****															
: SI :	IM :	PU :	PT :	LR :	DR :	DM :	FN :	DELTA w :	K :	FO :	FI :	PP :	K :	FO :	FI :
: 0.6 :	59.8 :	59.8 :	8.4 :	36.5 :	2.0 :	1.92 :	12.8 :	9.98 :	0.107 :	77.1 :	39.3 :	4.4 :	0.120 :	92.7 :	42.4 :
: 0.7 :	:	:	:	:	:	:	:	9.88 :	0.106 :	75.8 :	39.0 :	4.0 :	0.116 :	87.9 :	41.5 :
: 0.8 :	:	:	:	:	:	:	:	9.78 :	0.105 :	74.4 :	38.7 :	3.6 :	0.113 :	83.8 :	40.7 :
: 0.9 :	:	:	:	:	:	:	:	9.68 :	0.104 :	73.1 :	38.4 :	3.3 :	0.110 :	80.3 :	40.0 :
: 1.0 :	:	:	:	:	:	:	:	9.58 :	0.102 :	71.7 :	38.1 :	2.9 :	0.107 :	77.2 :	39.7 :

CORRECTION SUR PI = -0.16 PI CORRIGE = 8.2 (PI CORRIGE)*RX/TM = 6.5

INFILTRABILITES ET CAPACITES DE RUISSELLEMENT THEORIQUE (IM-F) POUR 0.5 <SI< 1.1

TEMPS(MN)"	1 :	2 :	4 :	6 :	8 :	10 :	15 :	20 :	25 :	30 :	40 :	50 :	70 :	90 :	120 :
F(SI= 0.6)"	83.68:	75.66:	62.23:	51.67:	43.37:	36.84:	28.98:	20.03:	16.77:	14.97:	13.45:	13.00:	12.82:	12.80:	12.80:
IM-F "	-23.88:	-15.86:	-2.43:	8.13:	16.43:	22.96:	33.82:	39.77:	43.03:	44.83:	46.35:	46.80:	46.98:	47.00:	47.00:
F(SI= 0.7)"	79.84:	72.29:	59.94:	50.15:	42.39:	36.24:	28.90:	20.12:	16.89:	15.09:	13.51:	13.02:	12.82:	12.80:	12.80:
IM-F "	-19.84:	-12.49:	-0.14:	9.65:	17.41:	23.56:	33.90:	34.68:	42.91:	44.71:	46.29:	46.78:	46.98:	47.00:	47.00:
F(SI= 0.8)"	76.20:	69.42:	57.96:	48.82:	41.52:	35.71:	28.81:	20.19:	17.00:	15.19:	13.57:	13.05:	12.83:	12.80:	12.80:
IM-F "	-16.40:	-9.62:	1.84:	10.98:	18.28:	24.09:	33.99:	34.61:	42.80:	44.61:	46.23:	46.75:	46.97:	47.00:	47.00:
F(SI= 0.9)"	73.22:	66.92:	56.22:	47.64:	40.75:	35.23:	28.73:	20.25:	17.10:	15.28:	13.62:	13.07:	12.83:	12.80:	12.80:
IM-F "	-13.42:	-7.12:	3.58:	12.16:	19.05:	24.57:	34.07:	34.55:	42.70:	44.52:	46.18:	46.73:	46.97:	47.00:	47.00:
F(SI= 1.0)"	70.60:	64.71:	54.67:	46.58:	40.05:	34.78:	28.64:	20.31:	17.19:	15.36:	13.68:	13.10:	12.83:	12.80:	12.80:
IM-F "	-10.80:	-4.91:	5.13:	13.22:	19.75:	25.02:	34.16:	34.49:	42.61:	44.44:	46.12:	46.70:	46.97:	47.00:	47.00:

-AVERSE NO 2 DU 24/ 3/75 A RM23 REFERENCE EHU 213 , RUISSELLEMENT NO 1. TA = 22MI

*****SYSTEME NO 1*****;*****SYSTEME NO 2*****															
: SI :	IM :	PU :	PT :	LR :	DR :	DM :	FN :	DELTA w :	K :	FO :	FI :	PP :	K :	FO :	FI :
: 0.6 :	60.2 :	30.1 :	2.5 :	20.6 :	1.8 :	1.96 :	11.2 :	3.14 :	0.229 :	54.4 :	36.6 :	:	:	:	:
: 0.7 :	:	:	:	:	:	:	:	3.04 :	0.215 :	50.5 :	35.0 :	:	:	:	:
: 0.8 :	:	:	:	:	:	:	:	2.94 :	0.201 :	46.6 :	33.4 :	:	:	:	:
: 0.9 :	:	:	:	:	:	:	:	2.84 :	0.186 :	42.9 :	31.8 :	:	:	:	:
: 1.0 :	:	:	:	:	:	:	:	2.74 :	0.170 :	39.2 :	30.1 :	:	:	:	:

CORRECTION SUR PI = -0.17 PI CORRIGE = 2.3 (PI CORRIGE)*RX/TM = 1.9

INFILTRABILITES ET CAPACITES DE RUISSELLEMENT THEORIQUE (IM-F) POUR 0.5 <SI< 1.1

TEMPS(MN)"	1 :	2 :	4 :	6 :	8 :	10 :	15 :	20 :	25 :	30 :	40 :	50 :	70 :	90 :	120 :
F(SI= 0.6)"	45.54:	38.50:	28.46:	22.12:	18.10:	15.56:	12.59:	11.64:	11.34:	11.24:	11.20:	11.20:	11.20:	11.20:	11.20:
IM-F "	14.66:	21.70:	31.74:	38.08:	42.10:	44.64:	47.61:	48.56:	48.86:	48.96:	49.00:	49.00:	49.00:	49.00:	49.00:
F(SI= 0.7)"	42.86:	36.73:	27.80:	21.99:	18.22:	15.76:	12.76:	11.73:	11.38:	11.26:	11.21:	11.20:	11.20:	11.20:	11.20:
IM-F "	17.34:	23.47:	32.40:	38.21:	41.98:	44.44:	47.44:	48.47:	48.82:	48.94:	48.99:	49.00:	49.00:	49.00:	49.00:
F(SI= 0.8)"	40.18:	34.91:	27.07:	21.82:	18.31:	15.95:	12.94:	11.84:	11.43:	11.29:	11.21:	11.20:	11.20:	11.20:	11.20:
IM-F "	20.02:	25.29:	33.13:	38.38:	41.89:	44.25:	47.26:	48.36:	48.77:	48.91:	48.99:	49.00:	49.00:	49.00:	49.00:
F(SI= 0.9)"	37.51:	33.04:	26.26:	21.58:	18.36:	16.14:	13.15:	11.97:	11.50:	11.32:	11.22:	11.20:	11.20:	11.20:	11.20:
IM-F "	22.69:	27.16:	33.94:	38.62:	41.84:	44.06:	47.05:	48.23:	48.70:	48.86:	48.98:	49.00:	49.00:	49.00:	49.00:
F(SI= 1.0)"	34.83:	31.13:	25.37:	21.28:	18.37:	16.30:	13.37:	12.13:	11.60:	11.37:	11.23:	11.21:	11.20:	11.20:	11.20:
IM-F "	25.37:	29.07:	34.83:	38.92:	41.83:	43.90:	46.83:	48.07:	48.60:	48.83:	48.97:	48.99:	49.00:	49.00:	49.00:

PARCELLE PNI 13-1.

RECHERCHE DES PARAMETRES FO, FN ET K DE LA LOI D'INFILTRATION DE HORTON.

-AVERSE NO 3 DU 28/ 3/75 A 9H12 REFERENCE ERO 313 • RUISSELLEMENT NO 1. TA = 0M19

*****SYSTEME NO 1*****:*****SYSTEME NO 2*****																
: SI :	IM :	PO :	PT :	LR :	DR :	DM :	FN :	DELTA W :	K :	FO :	FI :	PP :	K :	FO :	FI :	:
: 0.6 :	61.2 :	30.6 :	1.2 :	25.9 :	1.9 :	2.08 :	6.2 :	0.82 :	0.469 :	20.4 :	20.8 :	:	:	:	:	:
: 0.7 :	:	:	:	:	:	:	:	0.72 :	0.338 :	20.9 :	16.7 :	:	:	:	:	:
: 0.8 :	:	:	:	:	:	:	:	0.62 :	0.188 :	13.2 :	12.0 :	:	:	:	:	:
: 0.9 :	:	:	:	:	:	:	:	0.52 :	0.011 :	6.5 :	6.5 :	:	:	:	:	:
: 1.0 :	:	:	:	:	:	:	:	0.42 :	-0.204 :	1.0 :	-0.1 :	-1.6 :	0.500 :	31.7 :	21.8 :	:

CORRECTION SUR PI = -0.19 PI CORRIGE = 1.0 (PI CORRIGE)*RX/IM = 0.9

INFILTRABILITES ET CAPACITES DE RUISSELLEMENT THEORIQUES (IM-F) POUR 0.5 <SI< 1.1

TEMPS(MN)"	1 :	2 :	4 :	6 :	8 :	10 :	15 :	20 :	25 :	30 :	40 :	50 :	70 :	90 :	120 :
F(SI= 0.6)"	20.70:	15.27:	9.75:	7.59:	6.74:	6.41:	6.22:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:
IM-F "	40.50:	45.93:	51.45:	53.61:	54.46:	54.79:	54.98:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:
F(SI= 0.7)"	16.67:	13.66:	10.00:	8.13:	7.18:	6.70:	6.29:	6.22:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:
IM-F "	44.53:	47.54:	51.20:	53.07:	54.02:	54.50:	54.91:	54.98:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:
F(SI= 0.8)"	12.02:	11.02:	9.51:	8.48:	7.76:	7.28:	6.62:	6.36:	6.26:	6.23:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:
IM-F "	49.18:	50.18:	51.69:	52.72:	53.44:	53.92:	54.58:	54.84:	54.94:	54.97:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:
F(SI= 0.9)"	8.53:	6.52:	6.52:	6.51:	6.50:	6.50:	6.48:	6.47:	6.45:	6.44:	6.42:	6.40:	6.36:	6.33:	6.29:
IM-F "	54.67:	54.68:	54.68:	54.69:	54.70:	54.70:	54.72:	54.73:	54.75:	54.76:	54.78:	54.80:	54.84:	54.87:	54.91:
F(SI= 1.0)"	21.66:	15.57:	9.65:	7.47:	6.67:	6.37:	6.21:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:	6.20:
IM-F "	39.54:	45.63:	51.55:	53.73:	54.53:	54.83:	54.99:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:	55.00:

-AVERSE NO 4 DU 28/ 3/75 A 16H44 REFERENCE ERO 413 • RUISSELLEMENT NO 1. TA = 7M 2

*****SYSTEME NO 1*****:*****SYSTEME NO 2*****																
: SI :	IM :	PO :	PT :	LR :	DR :	DM :	FN :	DELTA W :	K :	FO :	FI :	PP :	K :	FO :	FI :	:
: 0.6 :	59.9 :	29.9 :	2.0 :	23.9 :	1.9 :	2.04 :	6.9 :	1.82 :	0.443 :	55.2 :	28.5 :	:	:	:	:	:
: 0.7 :	:	:	:	:	:	:	:	1.72 :	0.412 :	49.4 :	27.0 :	:	:	:	:	:
: 0.8 :	:	:	:	:	:	:	:	1.62 :	0.379 :	43.7 :	25.4 :	:	:	:	:	:
: 0.9 :	:	:	:	:	:	:	:	1.52 :	0.344 :	38.2 :	23.7 :	:	:	:	:	:
: 1.0 :	:	:	:	:	:	:	:	1.42 :	0.307 :	33.0 :	21.8 :	:	:	:	:	:

CORRECTION SUR PI = -0.19 PI CORRIGE = 1.8 (PI CORRIGE)*RX/IM = 1.6

INFILTRABILITES ET CAPACITES DE RUISSELLEMENT THEORIQUES (IM-F) POUR 0.5 <SI< 1.1

TEMPS(MN)"	1 :	2 :	4 :	6 :	8 :	10 :	15 :	20 :	25 :	30 :	40 :	50 :	70 :	90 :	120 :
F(SI= 0.6)"	37.93:	26.82:	15.11:	10.28:	8.29:	7.47:	6.96:	6.91:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:
IM-F "	21.97:	33.08:	44.79:	49.62:	51.61:	52.43:	52.94:	52.99:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:
F(SI= 0.7)"	35.03:	25.52:	15.07:	10.48:	8.47:	7.59:	6.99:	6.91:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:
IM-F "	24.87:	34.38:	44.83:	49.42:	51.43:	52.31:	52.91:	52.99:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:
F(SI= 0.8)"	32.08:	24.14:	14.97:	10.68:	8.67:	7.73:	7.02:	6.92:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:
IM-F "	27.82:	35.76:	44.93:	49.22:	51.23:	52.17:	52.88:	52.98:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:
F(SI= 0.9)"	24.11:	22.64:	14.81:	10.47:	8.90:	7.90:	7.08:	6.93:	6.91:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:
IM-F "	30.79:	37.26:	45.09:	49.03:	51.00:	52.00:	52.82:	52.97:	52.99:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:
F(SI= 1.0)"	26.04:	21.02:	14.55:	11.04:	9.14:	8.12:	7.16:	6.96:	6.91:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:	6.90:
IM-F "	33.81:	38.88:	45.35:	48.86:	50.76:	51.78:	52.74:	52.94:	52.99:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:	53.00:

-AVERSE NO 5 DU 28/ 3/75 A 17H30 .REFERENCE EXO 513 • RUISSELLEMENT NO 1. TA = 0M16

*****SYSTEME NO 1*****																*****SYSTEME NO 2*****			
SI	IM	PU	PT	LR	DR	DM	FN	DELTA	w*	K	FO	FI	PP	K	FO	FI			
0.6	61.4	30.7	1.2	26.5	1.9	2.11	4.71	1.04	0.782		28.6	21.1							
0.7								0.94	0.279		20.5	16.7							
0.8								0.84	0.164		13.0	11.8							
0.9								0.74	0.035		6.3	6.2							
1.0								0.64	-0.113		0.3	-0.2	-1.7	0.427	32.6	23.1			

CORRECTION SUR PI = -0.20 PI CORRIGE = 1.0 (PI CORRIGE)*RA/IM = 0.9

INFILTRABILITES ET CAPACITES DE RUISSELLEMENT THEORIQUES (IM-F) POUR 0.5 <SI< 1.1

TEMPS(MN)"	1	2	4	6	8	10	15	20	25	30	40	50	70	90	120
F(SI= 0.6)"	20.99	15.82	9.88	7.11	5.82	5.22	4.78	4.71	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70
IM-F "	40.41	45.58	51.52	54.29	55.58	56.18	56.62	56.69	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
F(SI= 0.7)"	16.62	13.72	9.86	7.66	6.39	5.67	4.94	4.76	4.71	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70
IM-F "	44.78	47.68	51.54	53.74	55.01	55.73	56.46	56.64	56.69	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70
F(SI= 0.8)"	11.73	10.67	9.00	7.80	6.93	6.31	5.41	5.01	4.84	4.76	4.71	4.70	4.70	4.70	4.70
IM-F "	49.67	50.73	52.40	53.60	54.47	55.09	55.99	56.39	56.56	56.64	56.69	56.70	56.70	56.70	56.70
F(SI= 0.9)"	6.20	6.15	6.05	5.96	5.87	5.79	5.62	5.47	5.35	5.25	5.08	4.97	4.84	4.77	4.72
IM-F "	54.20	55.25	55.35	55.44	55.53	55.61	55.78	55.93	56.05	56.15	56.32	56.43	56.56	56.63	56.68
F(SI= 1.0)"	22.89	16.57	9.75	6.85	5.62	5.09	4.75	4.71	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70	4.70
IM-F "	38.51	44.83	51.65	54.55	55.78	56.31	56.65	56.69	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70	56.70

-AVERSE NO 6 DU 29/ 3/75 A 18H43 .REFERENCE HYD 113 A. RUISSELLEMENT NO 1. TA = 15M45

*****SYSTEME NO 1*****																*****SYSTEME NO 2*****			
SI	IM	PU	PT	LR	DR	DM	FN	DELTA	w*	K	FO	FI	PP	K	FO	FI			
0.6	59.7	11.3	1.6	7.6	1.7	2.00	8.7	1.15	0.532		45.5	25.9							
0.7								1.05	0.464		38.3	23.9							
0.8								0.95	0.399		31.5	21.6							
0.9								0.85	0.321		25.2	19.1							
1.0								0.75	0.234		19.3	16.3							

CORRECTION SUR PI = -0.18 PI CORRIGE = 1.4 (PI CORRIGE)*RA/IM = 1.2

INFILTRABILITES ET CAPACITES DE RUISSELLEMENT THEORIQUES (IM-F) POUR 0.5 <SI< 1.1

TEMPS(MN)"	1	2	4	6	8	10	15	20	25	30	40	50	70	90	120
F(SI= 0.6)"	30.34	21.41	13.08	10.21	9.22	8.88	8.71	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70
IM-F "	29.36	38.29	46.62	49.49	50.48	50.82	50.99	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
F(SI= 0.7)"	27.25	20.30	13.24	10.48	9.40	8.97	8.73	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70
IM-F "	32.45	39.40	46.46	49.22	50.30	50.73	50.97	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
F(SI= 0.8)"	24.02	18.98	13.33	10.78	9.64	9.12	8.76	8.71	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70
IM-F "	35.68	40.72	46.37	48.92	50.06	50.58	50.94	50.99	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
F(SI= 0.9)"	20.64	17.36	13.25	11.09	9.96	9.36	8.83	8.73	8.71	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70
IM-F "	39.06	42.34	46.45	48.61	49.74	50.34	50.87	50.97	50.99	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00
F(SI= 1.0)"	17.08	15.33	12.85	11.30	10.33	9.72	9.02	8.80	8.73	8.71	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70
IM-F "	42.62	44.37	46.85	48.40	49.37	49.98	50.68	50.90	50.97	50.99	51.00	51.00	51.00	51.00	51.00

- Pour PNI.12 on a affaire à un sol non uniforme où la conductivité hydraulique est probablement beaucoup plus forte dans les vingt premiers centimètres de l'horizon superficiel récemment remanié par les cultivateurs que dans l'horizon sous-jacent à structure plus compacte.

Dans les premiers temps de l'infiltration, tant que le front d'humectation reste situé dans l'horizon supérieur, l'intensité d'infiltration est contrôlée par la conductivité de celui-ci et ses variations obéissent à une loi simple du type HORTON. Cependant, si l'averse se prolonge, il arrive un moment où l'avance du front est brutalement ralentie au passage dans l'horizon moins conducteur et il s'établit dans ce dernier un régime d'infiltration beaucoup plus lent auquel correspond en surface un palier de ruissellement plus élevé.

- Pour les parcelles de Batanga, bien que l'effet résultant soit à peu près le même, la cause du phénomène doit être recherchée ailleurs car le sol peut être considéré comme uniforme. Cette fois le rôle essentiel est joué par les fentes de retrait qui, en absorbant au début de la phase transitoire une partie très appréciable des eaux de ruissellement, limitent la superficie de parcelle qui participe effectivement au ruissellement résultant. A mesure que les fentes se remplissent et débordent cette superficie augmente et la capacité d'absorption moyenne de la parcelle décroît. Ce phénomène obéit à sa loi propre et se superpose, en le masquant, au phénomène de décroissance de l'infiltrabilité du sol proprement dit. En pratique il n'est guère possible expérimentalement de faire la part de l'un ou de l'autre, c'est pourquoi, comme dans le cas de PNI.12 et celui des parcelles labourées, l'application de la méthode d'ajustement ci-dessus nous est apparue sans objet.

Par contre des résultats dans l'ensemble cohérents ont été obtenus sur toutes les autres parcelles et, en prenant PNI.13 à titre d'exemple, on peut extraire un certain nombre de remarques intéressantes de la figure 76 où a été reproduit le tableau des valeurs des paramètres de Horton ainsi que les courbes d'infiltrabilités relatifs aux principales averses de 60 mm/H pour $S_i = 0,8$ mm. Ces remarques sont les suivantes :

1°) Si l'on excepte pour le moment les résultats des averses 6 et 18 et si l'on admet provisoirement que l'état d'humectation initial du sol est parfaitement caractérisé par le temps t_a , il apparaît que la forme et la position des courbes d'infiltration évoluent de façon régulière selon l'état d'humectation initial.

Le paramètre de forme k a généralement une valeur d'autant plus élevée que le sol est initialement plus humide et, inversement, les paramètres de position F_0 et F_n apparaissent comme étant des fonctions décroissantes de cette même humidité initiale.

2°) Si l'on considère cette fois toutes les averses, on constate que leur classement selon les valeurs de l'infiltration finale F_n coïncide parfaitement avec le classement selon les valeurs de t_a , ce qui confirme

le fait énoncé plus haut que F_N est une fonction décroissante de l'humidité initiale. On notera d'ailleurs la valeur limite très faible (2,2 mm/H) susceptible d'être atteinte par F_N (et F_0) dans le cas de la saturation initiale (temps de ressuyage t_a de 20 minutes) et on la comparera aux valeurs extrêmes ($F_0 = 83,8$ et $F_N = 12,8$ mm/H) prises par ces mêmes paramètres dans le cas de sécheresse initiale absolue.

3°) Si l'on classe toutes les averses non plus selon les valeurs de t_a mais selon celles de SW_a qui représente la hauteur de la lame d'eau infiltrée entre le début des essais et le début de l'averse que l'on étudie, on constate que ce classement correspond à celui que l'on peut faire selon les valeurs de k . Ceci confirme que k est une fonction croissante de l'humidité initiale, celle-ci semblant sous ce rapport être mieux caractérisée par le stock d'eau SW_a contenu dans le sol que par la durée du ressuyage antérieur t_a .

4°) En ce qui concerne les variations de F_0 , la tendance mentionnée plus haut est moins nette, d'autant que le chiffre de 348 mm/H calculé pour l'averse N° 18 (courbe en tireté sur la figure 76) est manifestement aberrant puisque supérieur à la valeur de l'infiltrabilité initiale sur sol parfaitement sec*. Il n'est cependant pas impossible que l'infiltrabilité initiale dépende non seulement de la teneur en eau mais encore de son gradient vertical au voisinage de la surface.

Les remarques ci-dessus sont dans l'ensemble confirmées par les résultats obtenus sur les autres parcelles. Afin de faciliter les comparaisons, ces résultats ont été pour l'essentiel regroupés dans le tableau XXXVI où figurent les paramètres de Horton relatifs à des états initiaux d'humectation caractéristiques (durées de ressuyage antérieur t_a de 20 minutes, de 20 heures et de plusieurs mois). Les courbes d'infiltrabilité correspondantes sont reproduites par ailleurs en figure 77 ; leur examen et celui du tableau conduit à faire quelques observations d'ordre général :

- Comme on pouvait déjà s'y attendre après l'étude de la phase d'imbibition (tableau XXX), le stockage superficiel par flaques est peu important, de l'ordre de 1 mm, sur parcelle non labourée et ses valeurs diffèrent peu d'un type de sol à un autre.

- la même remarque s'applique aux valeurs de l'infiltrabilité finale qui, si l'on excepte SPO.21, sont peu élevées et également très voisines sur sol initialement sec. Quant aux valeurs de l'infiltrabilité initiale, elles sont beaucoup plus dispersées et semblent être sans rapport avec les valeurs de F_N correspondantes, tout au moins pour les sols initialement secs.

- mis à part le cas de SPO.21 qui présente les caractéristiques d'infiltration très différentes de celles des autres parcelles, on constate que le paramètre de forme k prend également des valeurs très voisines d'un type

* Note : Cette anomalie est probablement imputable à une sous-estimation de la détention superficielle récupérable pour l'averse N° 18.

TABLEAU XXXVI - Paramètres de la loi de Horton pour des états d'humectation initiale du sol caractéristiques (sol sec, sol ressuyé depuis 22 heures et sol saturé)

Référence parcelle	t_a	S_1 (mm)	F_N (mm/H)	F_o (mm/H)	k (mm ⁻¹)	Observations
PNI 11.1	5 mois 22 H 0 H 20	1,0	16,4 (12,4) 6,3	67,3 6,3	0,186	Palier de ruissellement non atteint
PNI 13.1	5 mois 23 H 0 H 20	0,8	12,8 11,2 2,2	83,8 46,6 2,2	0,113 0,201	
SPO 21.1	5 mois 23 H 0 H 20	1,7	26,8 7,7	55,8 7,7	0,079	Palier de ruissellement non atteint
SPO 22.1	5 mois 22 H 0 H 20	0,6	14,4 6,8 5,9	122,4 35,8 5,9	0,110 0,145	
LBA 41.1	5 mois 22 H 0 H 20	0,9	11,9 (9,7) 6,8	92,9 42,3 6,8	0,130 0,133	Valeur du palier imprécise

de sol à un autre, le temps nécessaire pour que la différence $F - F_N$ soit, par exemple, divisée par deux sur sol initialement sec étant au maximum de 6 minutes (SPO.22) et au minimum de 4 minutes (PNI.11).

On peut donc retenir dès à présent qu'excepté d'une part le sol de SPO.21 (assez perméable en raison d'une texture superficielle aérée en dépit d'une pellicule de battance) et d'autre part ceux de LBA.41 et de PNI.12 (très perméables pour les raisons exposées plus haut), tous les autres sols testés en Haute Volta ont des caractéristiques comparables en ce qui concerne l'infiltration : ces caractéristiques correspondent à une perméabilité peu élevée si l'on se réfère à celles qui ont été observées ultérieurement sur le même méridien dans les avanes du Centre et du Nord de la Côte d'Ivoire.

4.4. La phase de régime permanent (infiltration sous averse et infiltration sous charge constante).

On rappelle que pour un essai donné la phase de régime permanent est caractérisée par l'intensité maximale de ruissellement R_x mesurée directement sur le palier de l'hydrogramme (ou l'intensité minimale d'infiltration F_N obtenue par différence). D'autre part, si l'on examine l'ensemble des valeurs de R_x (ou de F_N) recueillies sur des types de sols divers, on constate qu'elles sont influencées par trois facteurs : l'intensité de la pluie, l'état d'humectation initial du sol, la nature de ce dernier et l'état de sa surface (nature et degré de couverture végétale).

Ces influences auxquelles il faudrait ajouter celle, indirecte, de la pente topographique (NASSIF et WILSON - 1975, LAFFORGUE et NAAH - 1976) ont pu assez facilement être mises en évidence dans un contexte expérimental favorable (sols très perméables, absence de vent et appareillage de mesure plus précis) au cours de campagnes de mesures récentes (LAFFORGUE - 1977). Malheureusement les mesures dont on dispose dans le cas présent ont une précision insuffisante (principalement en raison du vent) pour qu'une étude quantitative de l'influence de ces facteurs puisse être menée à bien. On se contentera donc de rassembler ici sous forme de schéma récapitulatif les valeurs les plus fiables de F_N obtenues sous pluie simulée pour l'ensemble des parcelles en l'état naturel.

Pour faciliter les comparaisons et les commentaires on a également rassemblé sur le même schéma les valeurs d'infiltration obtenues sur les mêmes sols à l'aide d'un infiltromètre à charge constante. Ces mesures ont été réalisées à proximité des parcelles soit à l'extérieur de l'aire irriguée par le simulateur (sol sec) soit à l'intérieur de celle-ci et à l'issue des expérimentations (sol très humide).

L'appareil utilisé était du type COLOMBANI - LAMAGAT - THIEBAUX (1972) dont les caractéristiques principales sont :

- diamètre de l'anneau de mesure	112 mm
- diamètre de l'anneau de garde	320 mm
- enfoncement du cylindre dans le sol	60 mm
- charge d'eau sur le sol	30 mm

L'examen du diagramme synthétique de la figure 78 conduit à faire les observations suivantes :

1°) Comme on l'a déjà mentionné, si l'on excepte PNI.12 et BTG 31.32, les valeurs de F_N obtenues sous pluies simulées sont très comparables d'une parcelle à l'autre et l'influence de l'état d'humectation initial apparaît nettement.

2°) les valeurs de perméabilité MUNTZ sont systématiquement beaucoup plus fortes en moyenne que celles de F_N , sauf en apparence pour BTG 31.32 où la perméabilité sous charge constante a été mesurée en dehors des fentes de retrait du sol alors que F_N se rapporte à l'ensemble de la parcelle et comprend l'absorption par ces fentes.

3°) les valeurs MUNTZ sont extrêmement dispersées malgré toutes les précautions prises sur le terrain et il est à noter que cette dispersion semble être en relation avec une forte proportion d'éléments grossiers (gravillons) dans la couche superficielle du sol. On peut voir en particulier que la dispersion la plus réduite est observée pour BTG 31.32 où la texture superficielle est très fine et que cette dispersion est au contraire très importante sur PNI.12 où la proportion de gravillons est la plus élevée.

4°) il ne semble pas que les valeurs moyennes de perméabilités obtenues sous charge constante puissent servir à une classification des sols selon leur perméabilité réelle sous averse. Par exemple, des valeurs de MUNTZ moyennes très différentes (environ 70 mm/H et 210 mm/H) sont obtenues respectivement pour SPO.22 et LBA.41 qui ont en fait des comportements tout à fait identiques sous averse.

Ces trois dernières remarques confirment en tous points ce qui avait déjà été observé en ce domaine sur d'autres types de sols (LAFFORGUE et NAAH - 1976) et devraient inciter à la plus grande prudence en ce qui concerne l'interprétation des mesures MUNTZ en général. On notera cependant à l'actif de cette méthode qu'elle permet de détecter qualitativement les sols non uniformes, les éventuelles discontinuités de conductivité hydraulique étant nettement mises en évidence par des cassures sur les courbes d'infiltration cumulée.

On a par exemple en figure 79 une telle courbe relative à PNI.12 où apparaissent sans ambiguïté deux régimes d'infiltration très différents qui expliquent les anomalies déjà rencontrées sur les hydrogrammes de cette parcelle (cf. paragraphe 4.3.3 et figure 75).

4.5. Les lames d'eau ruisselées.

L'étude analytique qui a été menée depuis le début de ce chapitre a permis de détailler les rôles de chacun des facteurs mis en jeu, de situer leurs niveaux d'intervention et de comparer les comportements des différentes parcelles au cours des phases successives du processus de ruissellement. On se propose à présent d'examiner la résultante de ces différentes phases c'est-à-dire la quantité d'eau globale ruisselée.

4.5.1. Expression analytique de la hauteur de lame d'eau ruisselée.

Dans l'hypothèse où le régime permanent d'infiltration est atteint et en continuant à supposer que le sol obéit à une loi d'infiltration de Horton, on a cherché l'expression de la hauteur de lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie utile. Pour cela on a utilisé les relations établies au paragraphe 4.3.1 et l'on a obtenu successivement :

d'après (35) et (36) si l'intensité de la pluie est relativement élevée ($I > F_0$)

$$L(P_U) = \left(1 - \frac{F_N}{I}\right) \left[P_U - \frac{I}{k} \frac{F_0 - F_N}{I - F_N} - \frac{I}{I - F_N} (S_i + D_m - D_r) \right] \quad (44)$$

et d'après (36) et (40) si $F_N < I < F_0$

$$L(P_U) = \left(1 - \frac{F_N}{I}\right) \left[P_U - \frac{I}{k} - P_p - \frac{I}{I - F_N} (S_i + D_m + D_r) \right] \quad (45)$$

Ces relations définissent donc pour chaque parcelle un faisceau de droites d'équation

$$L(P_U) = a (P_U - b)$$

où les coefficients a et b ne dépendent que de l'état d'humectation initial du sol et de l'intensité constante de l'averse. On peut voir en effet que les pentes ' a ' des droites du faisceau sont fonction du taux d'infiltration final F_N/I qui dépend bien entendu de l'état d'humectation initial par le biais de F_N . Quant à l'abscisse à l'origine ' b ', elle est elle-même la somme de plusieurs termes traduisant chacun un effet particulier de la parcelle :

1°) le terme P_p représente l'absorption au début du processus, avant que le ruissellement n'apparaisse ; on a vu en début de chapitre que P_p est

approximativement proportionnel au déficit volumique initial en humidité de la tranche superficielle du sol et qu'il dépend également de l'intensité d'arrosage (voir paragraphe 4.1.1).

2°) le terme en $\frac{I}{k}$ se rapporte au "surplus" ΔW absorbé durant les premiers temps du ruissellement (phase transitoire) et rend compte du fait qu'au cours de cette phase l'infiltrabilité du sol est supérieure à sa valeur finale F_N ; ce terme dépend aussi de l'intensité d'arrosage et de l'état d'humectation initial (paragraphe 4.3.3)

3°) le dernier terme traduit enfin l'effet absorbant global résultant de "l'étalement" du ruissellement après l'arrêt de la pluie (infiltration de l'eau stockée dans les flaques et d'une partie de la détention superficielle) ; c'est une fonction décroissante du taux d'humectation initial et une fonction croissante de l'intensité d'arrosage.

4.5.2. Susceptibilité ou ruissellement des sols en l'état naturel.

Les relations (44) et (45) pourraient permettre de caractériser de façon synthétique la susceptibilité au ruissellement d'une parcelle à condition que l'on ait explicité soit analytiquement soit sous forme de régression graphique les liaisons existant entre F_0 , F_N , k d'une part et l'état d'humectation initial du sol d'autre part. Ceci est envisageable lorsqu'on dispose de données expérimentales à la fois nombreuses et précises (LAFFORGUE et NAAH - 1976) mais tel n'est pas le cas pour les données de la présente étude. On se contentera donc ici de comparer les comportements globaux des différents sols en utilisant un schéma plus grossier, c'est-à-dire les courbes de ruissellement cumulé (SL) en fonction du cumul des hauteurs d'arrosage.

Ces courbes sont reproduites en figure 80 et l'on peut voir qu'excepté sur BTG.32 et PNI.12 la relation SL(SP) est pratiquement linéaire, soit :

$$SL = \alpha (SP - \beta)$$

Pour BTG.32 et PNI.12 les courbes SL(SP) sont approximativement représentées chacune par deux segments de droite qui se raccordent pour $SP = 300$ mm (BTG.32) et $SP = 220$ mm (PNI.12).

Les coefficients α et β ne sont pas des caractéristiques pures des parcelles puisqu'ils dépendent des protocoles expérimentaux adoptés dans la succession des arrosages, mais, étant donné que ces protocoles sont sensiblement les mêmes sur toutes les parcelles il est permis d'utiliser les valeurs de α et β comme base de comparaison.

Ces valeurs sont les suivantes (ordre décroissant des valeurs α) :

Parcelle	β	α	observation
PNI.13	22,0	0,83	
PNI.11	20,0	0,80	
SPO.22	20,0	0,79	
LBA.41	17,0	0,75	
BTG.31	42,0	0,74	
SPO.21	19,0	0,60	
BTG.32 (	53,0	0,22	SP < 300 mm
(	228,0	0,72	SP > 300 mm
PNI.12 (	35,0	0,14	SP < 220 mm
(	133,0	0,26	SP > 220 mm

Ce classement fait apparaître un groupement de sols pouvant être considérés comme très peu perméables ($\alpha \neq 0,80$ et $\beta \neq 20$) et présentant des susceptibilités au ruissellement très voisines. Ce sont PNI.13, PNI.11, SPO.22 et LBA.41, sols qui présentent pourtant des caractéristiques pédologiques assez diverses. On trouve ensuite SPO.21 qui avec $\alpha = 0,60$ peut être considéré comme assez perméable puis enfin PNI.12 qui demeure très perméable ($\alpha = 0,26$ au maximum) dans les conditions d'humectation initiale les moins favorables pour l'infiltration. Quant aux sols de Batanga ils constituent un cas particulier en raison de la présence des fentes de retrait car ils réagissent à peu près de la même façon que PNI.12 ($\alpha = 0,22$) en deçà d'un seuil de pluviométrie évalué à 300 mm et se situent au contraire parmi les sols peu perméables ($\alpha = 0,72$ pour BTG.32 et $\alpha = 0,74$ pour BTG.31) au delà de ce même seuil (remplissage et fermeture des fentes de retrait).

4.5.3. Influence du labour sur les quantités ruisselées.

Cette influence peut être mise en évidence par l'examen du rapport L_2/L_1 (rapport de la lame ruisselée sur labour à la lame ruisselée sur sol naturel au cours de la même averse). On a reporté en figure 81 les courbes retraçant l'évolution de ce rapport en fonction de la hauteur de pluie cumulée depuis le début des essais pour 3 couples de parcelles ayant des comportements typiques.

- Réaction du type PNI.13 : très efficace au cours de la première averse ($L_2/L_1 = 0,1$), l'effet du labour s'atténue de façon très rapide dès la deuxième averse et disparaît pratiquement ($L_2/L_1 = 0,98$) pour une hauteur de pluie cumulée de 170 mm. Le gain à l'infiltration dû au labour est donc relativement faible (40 mm) et atteint très vite une valeur plafond.

- Réaction du type PNI.11 : le rapport L_2/L_1 augmente également dès la deuxième averse mais beaucoup plus lentement que dans le cas précédent.

La surface de la parcelle labourée se stabilise pour une hauteur de pluie cumulée de 220 mm et le rapport L_2/L_1 conserve au delà une valeur constante égale à 0,7. Le gain à l'infiltration est ici très important (une centaine de mm lorsque la stabilisation est atteinte) et un effet résiduel non négligeable continue à se manifester après stabilisation.

- Réaction du type PNI.12 : Le rapport L_2/L_1 conserve depuis le début une valeur relativement faible, voisine de 0,2. Le labour a dans ce cas un effet permanent considérable.

On constate que les parcelles BTG.31-32 et SPO.21 appartiennent à la même catégorie que PNI.13 (effets du labour temporaires et peu importants) tandis que les parcelles SPO.22 et LBA.41 se rangent dans la même catégorie que PNI.11 (dégradation lente du labour au cours des premières averses mais effet résiduel durable).

Il apparaît donc nettement qu'en ce qui concerne le ruissellement et l'infiltration, l'efficacité du labour est en relation étroite avec la nature de l'horizon superficiel du sol : les textures fines favorisent la désagrégation des mottes et la formation de croûtes relativement imperméables alors que la présence de gravillons limite (PNI.11) ou annihile totalement (PNI.12) ces processus.

Ces différents phénomènes ainsi que l'effet des autres traitements culturaux seront examinés plus à fond au chapitre suivant (paragraphe 5.4.).

4.6. Résumé et conclusions partielles du chapitre.

1° la phase d'imbibition est caractérisée par la hauteur de pluie P_i qui est à rapprocher de la notion de "précipitation limite d'écoulement" utilisée dans l'analyse du ruissellement sur bassins versants. Pour un sol donné, P_i dépend à la fois de l'intensité de la pluie et de l'état d'humectation initial de l'horizon superficiel, cet état pouvant être approximativement caractérisé par la durée t_a pendant laquelle le sol a eu la possibilité de se ressuyer avant d'être soumis à l'arrosage.

En supposant l'intensité d'averse fixée, on a établi la relation :

$$P_i(t_a) = P_i(\infty) \cdot \{1 - e^{-\alpha t_a}\} + P_i(0)$$

exprimant les variations de P_i en fonction de l'état d'humectation initial entre les valeurs $P_i(0)$ et $P_i(\infty)$ correspondant respectivement à un sol saturé et à un sol très sec.

Sur les sols naturels testés en Haute-Volta, les valeurs de $P_i(\infty)$ observées sous intensité d'arrosage standard de 60 mm/H sont à la fois très faibles et peu dispersées (entre 8,5 et 12 mm). Ce double caractère est encore plus marqué sur les valeurs de $P_i(0)$ qui restent comprises entre 1,5 et 2,5 mm quelle que soit la nature du sol.

Les valeurs de α qui traduit l'aptitude du sol à s'assécher sont également assez voisines et la hauteur de pluie d'imbibition reprend en général 80 % de sa valeur maximale une huitaine de jours après la saturation.

On constate enfin que la pratique du simple labour ne permet d'augmenter que très faiblement la hauteur de pluie d'imbibition : le gain obtenu sur les valeurs de $P_i(\infty)$ est compris entre 5 et 10 mm et l'on doit ajouter que cet effet disparaît dès la deuxième averse. En revanche les gains à l'infiltration sont beaucoup plus importants pour des traitements culturaux tels que le buttage cloisonné et, surtout, le paillage des labours dont l'effet est durable et permet de gagner plusieurs dizaines de millimètres à l'infiltration pendant la phase d'imbibition ; ce gain peut même dépasser 100 mm dans le cas de sols à forte proportion d'éléments grossiers.

2° L'étude de la phase de vidange des parcelles a principalement permis de définir un paramètre $A = D / \sqrt{R_x}$ (D étant la détention superficielle récupérable et R_x l'intensité du ruissellement à l'arrêt de la pluie) qui traduit la résistance opposée à l'écoulement par la surface du sol (pente topographique, nature et texture du revêtement superficiel, densité du couvert végétal). La comparaison des résultats obtenus d'une part en Haute-Volta sur des sols très dénudés et d'autre part en Côte d'Ivoire sur des sols pourvus d'une abondante couverture végétale montre que, toutes choses égales par ailleurs, la présence d'éléments grossiers sur un sol nu entraîne une résistance à l'écoulement aussi importante qu'un couvert végétal dense.

On remarque par ailleurs que les valeurs de A obtenues en Haute-Volta sont très peu affectées par le labour : dès la première averse suivant le travail du sol la rugosité reprend une valeur comparable à celle qu'elle avait initialement. Il arrive même que l'on observe une diminution de la rugosité, le labour favorisant dans ce cas un certain glaçage de la surface du sol par la pluie.

3° Il ressort de l'analyse de la phase de régime transitoire que la variation dans le temps de la capacité d'absorption des sols testés peut généralement être bien représentée par une loi exponentielle du type Horton :

$$F(t) = F_N + (F_O - F_N) e^{-kt}$$

où F_O et F_N sont respectivement les infiltrabilités moyennes initiale et finale du sol et où k est une constante pour des conditions initiales données.

D'une façon générale, le paramètre k prend des valeurs d'autant plus élevées que le sol est initialement plus humide et inversement F_0 et F_N apparaissent comme étant des fonctions décroissantes de cette même humidité initiale.

Pour ceux des sols testés en Haute-Volta qui ne comportent ni horizon gravillonnaire affleurant ni fentes de retrait, les valeurs observées pour l'infiltrabilité finale F_N sont peu élevées et voisines les unes des autres (entre 12 et 16,5 mm/H sur sol sec et entre 2 et 8 mm/H sur sol très humecté). Les valeurs de l'infiltrabilité initiale sont également relativement faibles (entre 50 et 120 mm/H sur sol sec) mais beaucoup plus dispersées. En revanche, le paramètre k prend des valeurs très voisines d'un type de sol à un autre et le temps nécessaire pour que la différence $F(t) - F_N$ soit diminuée de moitié est comprise entre 4 et 6 minutes. Ces différentes caractéristiques correspondent à de faibles perméabilités qui peuvent s'expliquer par la présence de croûtes superficielles dont aucun couvert végétal ne vient ralentir la formation en cours d'averse.

4° La comparaison des valeurs de F_N obtenues en régime permanent, sous averse simulée d'une part et sous charge constante d'autre part, montre que cette deuxième méthode fournit des résultats systématiquement beaucoup plus élevés. La dispersion de ces résultats est par ailleurs très importante, principalement lorsque la proportion de gravillons est notable. Ces remarques étant confirmées par des résultats obtenus au cours d'autres campagnes de mesure, elles devraient inciter à beaucoup de prudence en ce qui concerne l'interprétation de ce genre de données.

CHAPITRE V

ANALYSE DE L'EROSION

Cette analyse de l'érosion vise à identifier les variations observées sur les différentes parcelles, expliquer les causes de ces variations et dégager des critères permettant de classer les érodibilités des sols considérés.

Bien que les protocoles expérimentaux aient été conçus de façon à cerner au plus près les processus naturels, certains facteurs conditionnant l'érosion n'ont pu être testés ; ce sont notamment :

- le facteur "végétation" en raison d'une dénudation généralisée des sols en fin de saison sèche, exception faite de quelques rares résidus de culture clairsemés.

- le facteur "pente", car une seule inclinaison a été retenue par type de sol. Il faut d'ailleurs noter qu'il aurait été difficile de faire varier ce facteur puisqu'il existe généralement en ces régions des relations de dépendances étroites entre les pentes et les différenciations pédologiques.

Nous avons par contre éprouvé les réactions de sept types de sols en y modifiant :

- les caractéristiques des séquences pluvieuses (hauteur, intensité, temps d'arrêt entre les averses consécutives),

- la surface du sol par trois types de pratiques culturales (labour, labour paillé, labour et aménagement en buttes cloisonnées).

Pour analyser plus aisément les phénomènes observés, nous étudierons successivement :

- l'érosion de sols soumis à des averses de même intensité (60 mm/H)
- l'érosion de sols soumis à des averses d'intensités variées
- l'érosion de sols soumis à des traitements culturaux différents.

De ces trois points de vue, nous nous efforcerons de comparer les réactions de tous les sites expérimentaux qui seront étudiés simultanément, en considérant en premier lieu le cas des sols en l'état naturel (parcelle n°1) et en second lieu celui des sols labourés (parcelle n°2).

5.1. Evolution de l'érosion sous intensité d'averse voisine de 60 mm/H.

Une première évaluation, assez grossière, des différences de comportement peut être faite en comparant les érosions globales déterminées par le planimétrage de la totalité des solidigrammes. On peut pour cela reprendre les indications des tableaux XIX à XXVI (cf. paragraphe 3.2.1) ou mieux, considérer les représentations graphiques des figures 82 et 95. A ce niveau, les comparaisons restent cependant délicates car il s'agit d'érosions résultant d'averses de durées variables ayant fourni des hauteurs de lames ruisselées différentes.

Pour éviter ces inconvénients on a donc choisi d'étudier l'évolution des érosions partielles correspondant à des tranches d'averse successives de même hauteur de pluie efficace (de 0 à 5 mm de pluie efficace puis de 5 à 10 mm, etc.). On a également cherché à exprimer l'érosion non plus en fonction des hauteurs de pluie mais en fonction des hauteurs de lames ruisselées cumulées SL. Ces méthodes d'approche permettent de mieux saisir les rapports de cause à effet entre partie active de l'averse et érosion résultante. Sur la base des renseignements obtenus, une analyse plus fine peut alors être tentée au niveau de la charge solide C en recherchant d'éventuelles liaisons entre cette dernière et, par exemple, l'état d'humectation initial (t_a) ou la détention superficielle D_m .

5.1.1. Comportement des parcelles n°1 (état naturel)

5.1.1.1. Les érosions globales

Les graphiques en coordonnées semi-logarithmiques de la figure n°82 représentent les érosions globales en fonction des pluies utiles cumulées (SP_u , mm). Ces érosions globales ont été obtenues par le planimétrage des différents solidigrammes et nous nous proposons d'examiner successivement : les réactions à la première averse sur sol sec ($P_u = 60$ mm) puis les réactions aux averses suivantes de 10, 20, 30 mm de hauteur sur sol humecté.

Les différences entre chaque site sont déjà considérables sur sol initialement sec, en effet les pertes en terre oscillent entre 40 (PNI 12) et 1200 kg/h (PNI 13) et cette érosion s'accroît selon l'ordre : PNI 12 → LBA 41, PNI 11 → SPO 21 → SPO 22 → PNI 13. On peut donc procéder à un premier regroupement à l'intérieur des fourchettes suivantes :

- aux environs de 50 kg/ha : PNI 12 et LBA 41
- de 200 à 500 kg/ha : PNI 11 et SPO 21
- de 1000 à 1200 kg/ha : PNI 13 et SPO 22.

On n'a pas pris en compte la parcelle BTG 32 dans ce premier classement car l'averse a eu lieu sous une intensité de 90 mm/h ; on notera toutefois que malgré la surestimation probable entraînée par cette forte intensité, l'érosion correspondante entre dans la fourchette médiane (450 kg/ha).

Avant d'examiner les effets des averses suivantes, on peut déjà noter deux points importants :

- les parcelles les plus érodibles correspondent aux sols dépourvus d'affleurements d'éléments grossiers et toujours situés en bas de versants,
- on retrouve regroupés dans des comportements équivalents des sols de textures sensiblement différentes (PNI 13 et SPO 22 par exemple).

Si l'on compare maintenant les réactions des parcelles déjà humectées et recevant les averses suivantes, il apparaît deux sortes de comportements :

- l'érosion change peu tout au long des averses et, plus précisément, cette évolution se fait sans "à coup" importants, c'est par exemple le cas de PNI 13, PNI 12, PNI 11, SPO 22, et LBA 41,
- les variations sont nettement plus importantes pour BTG 32 et SPO 22.

Ces données fournissent déjà des renseignements pouvant être utilisés pour le calcul du Coefficient K de l'équation universelle de prédiction de l'érosion de W.H. WISCHMEIER et D.D. SMITH (1959) qui sera reprise ultérieurement. Cependant cette présentation de données fournit peu d'indication sur les modalités des érosions. D'où la démarche qui suit.

5.1.1.2. Les érosions partielles : vers un classement des érodibilités

Nous venons de comparer les érosions globales de différents sites ce qui nous a permis de mettre en évidence des comportements variés que nous avons, pour le moment, rattachés à certaines caractéristiques des horizons de surface.

Une analyse plus fine est possible en fractionnant ces érosions globales en érosions partielles correspondant, lorsque cela est possible, aux phases du ruissellement les plus susceptibles d'influer sur l'érosion. Cette démarche est réalisable lorsque l'on dispose de turbidigrammes lissés avec suffisamment de données et qu'il est donc possible d'y mettre en évidence les points caractéristiques de la turbidité mentionnée dans le paragraphe 3.1.2. (C_s , C_x et éventuellement C_c) ; cette remarque s'applique donc aux turbidigrammes de types 1 et 2. Il faut en outre que sur les hydrogrammes apparaissent nettement les phases transitoires et permanentes du ruissellement, ce qui est généralement obtenu sur sol humide pour des pluies de durée utile supérieure à dix minutes.

5.1.1.2.1. Les composantes de la charge solide

Pour caractériser de façon plus fine les érodibilités des différents sols testés on se propose d'étudier site par site les évolutions averse après averse de deux des principaux paramètres des turbidigrammes : la valeur maximale C_s de la charge solide et la valeur atteinte en palier C_x .

- C_s -

Rappelons que ce pic de turbidité est obtenu, selon l'hypothèse proposée dans le paragraphe 3.1.2. par la conjonction des composantes dues au "splash" (C_{sp}) et à la reprise du stock de sédiments déposés pendant la phase de vidange^{sp} de la pluie précédente (C_{st}) auxquelles s'ajoute plus ou moins rapidement une turbidité due à la seule érosion en nappe (C_n). Ce pic C_s apparaît pendant la phase transitoire du ruissellement.

Le graphique de la figure 83 représente l'évolution de C_s en fonction des pluies utiles cumulées sur les différents sites ($C_s = f(SP_u)$). Deux sortes de comportements apparaissent :

- pour PNI 11, PNI 13 et LBA 41, C_s a tendance à diminuer tout au long des averses bien que les pentes des courbes obtenues soient variables et plus ou moins irrégulières.

- pour la parcelle SPO 22, si l'on excepte la première averse tombant sur un sol très sec, les valeurs de C_s ont au contraire tendance à augmenter avec la hauteur de pluie cumulée. Le phénomène est moins net sur la parcelle SPO 21 pour laquelle on dispose de peu de résultats.

On remarquera par ailleurs que d'une façon générale les plus fortes valeurs de C_s sont observées au cours de la première averse, ces fortes valeurs correspondant probablement à un entraînement de sédiments meubles accumulés pendant toute la saison sèche. On remarque que les valeurs de C_s correspondant à la première averse sont beaucoup moins fortes sur les parcelles à affleurement de gravolite (PNI 11 et PNI 12), ce qui peut s'expliquer par :

- une perte d'énergie cinétique de la pluie et du ruissellement au niveau des nodules ferrugineux,
- des tailles plus importantes des particules disponibles pour le transport,
- des remontées biologiques moins importantes, ce qui est classique dans les sols à forte charge en éléments grossiers où l'activité biologique se traduit par des accumulations en surface plus faibles.

Les diminutions des valeurs de C_s observées lors des averses suivantes correspondent à un remaniement progressif des horizons de surface où s'organise une pellicule de battance plus ou moins résistante à l'érosion ; il en résulte donc une diminution de la composante due au "splash" (C_{sp}) ainsi qu'un amoindrissement du stock en sédiments facilement mobilisables abandonnés en fin de pluie précédente (C_{st}). Dans ce premier cas, les parcelles manifestent donc une tendance à la stabilisation.

Les augmentations perçues sur SPO 22 correspondent encore à des remaniements de la surface du sol allant cette fois dans le sens d'une sensibilisation croissante à l'érosion, en effet, sur cette parcelle pour laquelle nous disposons de plus de données, nous avons constaté de temps à autre soit l'excavation de microravines soit aussi la reprise de la pellicule de battance constituée lors de l'averse précédente. Il est vrai aussi que pour certaines averses il est difficile de distinguer sur le terrain ces modifications et seule l'observation des turbidigrammes correspondants nous permet d'affirmer qu'un seuil d'érodibilité a été franchi. L'accroissement de C_x est d'abord dû à l'importance des sédiments abandonnés lors de la phase de vidange de la pluie précédente et d'autre part à une reprise de l'effet "splash" au niveau des multiples émergences locales consécutives à un début de canalisation du ruissellement.

- C_x -

Nous avons ensuite rassemblé sur la figure n° 84 les différents paliers de la turbidité C_x (phase du régime permanent du ruissellement) dont nous avons également exprimé les modifications en fonction des hauteurs de pluies utiles cumulées (SP_u). Ces données sont évidemment moins nombreuses que précédemment car si dans beaucoup de cas l'on peut repérer le pic C_s , les paliers C_x sont moins fréquemment atteints. On a pu les observer de façon continue sur PNI 13, PNI 12 et LBA 41 mais par contre de façon plus aléatoire sur les autres parcelles où les averses furent souvent trop courtes pour que l'on ait pu discerner les différentes phases caractéristiques de l'érosion (turbidigrammes de type 3 ou 4). On note généralement des valeurs bien inférieures à celles de C_s . Si l'on excepte la parcelle SPO 22, ces turbidités ne dépassent pas les trois grammes par litre et conservent des valeurs pratiquement constantes, indépendantes du ruissellement maximum R_x et des temps d'arrêt entre chaque averse (t_a).

Si l'on classe les parcelles dans l'ordre décroissant des valeurs des paliers, on obtient :

PNI 13 > SPO 22 > BTG 32 > LBA 41 > PNI 11 > PNI 12

Pendant la phase de régime permanent et pour des turbidigrammes de type 1 (ainsi que pour certains turbidigrammes de type 2), c'est donc probablement l'érosion en nappe qui prédomine et l'on a approximativement $C_x = C_n$ en raison de la présence en surface d'une lame d'eau de hauteur moyenne D_m qui constitue un écran et absorbe la plus grande partie de l'énergie cinétique de la pluie. Le graphique de la figure 85 montre d'ailleurs une certaine tendance générale à une décroissance de C_x en fonction de D_m .

Lorsque l'identité $C_x = C_n$ peut être établie, il s'agit d'un paramètre important, et en anticipant sur les développements ultérieurs, C_n peut être utilisé comme caractéristique des sols testés.

Voyons à présent quelles pourraient être les influences respectives de ces deux valeurs remarquables de la turbidité sur l'érosion. En reprenant les hypothèses développées dans le paragraphe 3.1.2. on peut dès à présent prévoir :

- une influence prépondérante du palier C_x pour les turbidigrammes de type 1 et éventuellement de type 2 lorsque les ravinnements n'apparaissent qu'occasionnellement ou en extrême fin d'averse, le pic C_s est fugace et n'intervient sur le débit solide que pendant la phase transitoire du ruissellement,

- pour les turbidigrammes de type 3 ou 4 c'est-à-dire dans le cas où il n'apparaît aucun palier de la turbidité, il est évident que l'érosion sera une fonction des valeurs atteintes par les maximums de turbidité.

Il semble intéressant dès lors de suivre sur les différents sites l'évolution de l'érosion en relation avec les phases caractéristiques du ruissellement.

5.1.1.2.2. Les érosions partielles en relation avec les phases caractéristiques du ruissellement. Etude de la relation $E = f(SP_e \text{ 5 mm})$.

Nous avons comparé sur chaque site les érosions partielles correspondant aux régimes transitoire et permanent du ruissellement. Pour cela les solidigrammes ont été divisés en tranches successives correspondant à des tranches égales de 5 mm de pluie efficace (P_e 5 mm, puis P_e 5-10 mm, etc.). Ce découpage étant réalisé, on peut ainsi étudier l'érosion cumulée au cours des différentes averses dans l'une de ces tranches en fonction du cumul de la hauteur de pluie efficace dans cette même tranche. Pour l'étude de la phase transitoire on peut par exemple considérer l'érosion cumulée correspondant aux premières tranches de 5 mm de pluie efficace, soit :

$$SE = f(SP_e \text{ 5 mm})$$

expression qui associe l'érodibilité et la susceptibilité au ruissellement.

- phase transitoire du ruissellement

Les tracés des figures 86 et 87 montrent que pour les cinq ou les dix premiers millimètres de ruissellement la relation étudiée est généralement linéaire et peut, la plupart du temps, être considérée comme une relation de proportionnalité. On peut donc en déduire que la concentration moyenne des eaux de ruissellement est pratiquement constante d'une averse à l'autre pendant la phase transitoire.

- régime permanent

Lorsque s'instaure le régime permanent (figure 88 et surtout 89), ces relations sont également sensiblement linéaires, les meilleures corrélations s'observant pour les sites qui fournissent le plus fréquemment des turbidigrammes de type 1 (PNI 13, PNI 11, LBA 41). Sur les parcelles SPO 22 et BTG 32

apparaissent des oscillations correspondant, soit à des variations aléatoires de turbidité, soit à des modifications temporaires dans les modalités de l'érosion.

Nous avons assimilé ces différentes portions de courbes à des droites dont nous avons calculé les équations de régression pour pouvoir comparer les érodibilités ; celles-ci s'ordonnent de la façon suivante :

- pendant la phase transitoire : SPO 22 \approx PNI 13 > SPO 21 \approx LBA 41 > PNI 11 > BTG 32 \approx PNI 12.

- pendant la phase du régime permanent, le classement précédent est le plus souvent confirmé, ce qui peut être intéressant dans le cas de raccourcissement voulu ou accidentel de protocole expérimental : PNI 13 \approx SPO 22 > LBA 41 > BTG 32 > PNI 12.

On constate que l'on retrouve à peu près le classement des paliers de turbidité C_x , ce qui confirme l'importance prépondérante de cette composante. Mais cette identité de classement résulte également d'une similitude de comportement vis-à-vis du ruissellement surtout pour PNI 13, SPO 22, et LBA 41.

5.1.1.2.3. Evolution des érosions en fonction de la lame ruissellée - $E = f(L)$ -

Cette analyse permet de s'affranchir du facteur susceptibilité des sols au ruissellement mais il ne faut pas s'attendre à de grandes modifications dans le classement des érodibilités car, comme on l'a vu au chapitre précédant, de nombreuses parcelles réagissent de la même façon et donc souvent plus ou moins indépendamment de leurs caractéristiques pédologiques

Pour la parcelle PNI 13-1 on a représenté les courbes $E = f(L)$ correspondant à l'ensemble des averses de 60 mm/H mais pour simplifier et faciliter les comparaisons, les courbes relatives aux autres parcelles ont été regroupées de la façon suivante :

- érosions dues à la première averse tombant sur un sol sec (figure n°91)
- érosions dues aux averses suivantes tombant sur un sol moyennement humecté (figure n°92)
- érosions consécutives aux ultimes pluies à 60 mm/H (figure n°93) et correspondant donc à des hauteurs de pluies cumulées souvent très supérieures à 200 mm.

On constate que, dans la majorité des cas, les ajustements de E en L sont sensiblement linéaires ce qui veut dire que les paliers de turbidité et de ruissellement sont atteints, plus précisément que la turbidité C pour chaque averse peut pratiquement être considérée comme constante et qu'elle est donc surtout influencée par le palier C_x .

En effet, K_1 et K_2 étant des coefficients dépendant des unités retenues, on a par définition :

$$Q(t) = K_1 \cdot C(t) \cdot R(t)$$

et

$$E(t) = K_2 \int_0^t Q(t) dt$$

c'est-à-dire :

$$\frac{dE}{dt} = K_1 K_2 \cdot C(t) \cdot R(t)$$

ou encore, en désignant par p la pente des droites de régression de E en L :

$$p = \frac{dE}{dL} = \frac{1}{R(t)} \frac{dE}{dt} = K_1 K_2 \cdot C(t)$$

car

$$\frac{dL}{dt} = R(t)$$

$\left(\frac{dE}{dL} = \text{constante}\right)$ Etablir une correspondance linéaire entre érosion et lame ruisselée revient donc à admettre que la turbidité $C(t)$ reste constante pendant toute la durée du ruissellement. C'est ce qui est observé avec une bonne approximation pour :

- PNI 13 sur sol sec et sur sol humide sauf pour ce qui concerne les dernières averses n° 14 et 17,

- PNI 12, mais nous manquons de renseignement sur le devenir de cette parcelle au delà des 10 mm de lame ruisselée,

-SPO 21 sur sol sec uniquement

- LBA 41 pour toutes les averses.

La dispersion des points est par contre plus importante sur :

- SPO 21 sur sol humide

- SPO 22 surtout sur sol humide

- vraisemblablement BTG 32 sur sol humide, (les données sont peu nombreuses).

Dans les premiers cas prédomine une érosion en nappe dès que la phase du régime permanent du ruissellement est atteinte, ces sites (PNI 13, PNI 12, LBA 41) fournissent effectivement des turbidigrammes de type 1 où $C_x = C_n$.

Il s'intercale par contre pour la série des sites suivants (SPO 21, SPO 22, BTG 32) des turbidigrammes de type 2 qui manifestent après un palier plus ou moins prononcé d'érosion en nappe, une augmentation de la turbidité due à l'action d'une érosion linéaire et souvent, simultanément, d'une reprise de l'effet splash, mais ces modifications dans les modalités de l'érosion ne sont que temporaires et semblent désordonnées, tout au moins pour

la durée des essais. Elles se traduisent sur le graphique uniquement par une plus grande dispersion des points et se repèrent très facilement à l'observation des turbidigrammes.

D'après les différents graphiques, on peut ordonner les niveaux d'érosion de la façon suivante :

- pour une première averse tombant sur le sol sec, on observe :
PNI 13 = vraisemblablement BTG 32 > SPO 22 > SPO 21 > LBA 41 > PNI 12 > PNI 11

- sur sols déjà humides, on a : PNI 13 ≈ SPO 22 > BTG 32 > LBA 41 > PNI 12 > PNI 11.

Les classements des paragraphes précédents se trouvent confirmés à part une inversion entre BTG et LBA ce qui est normal ici étant donné les faibles hauteurs de lames ruisselées sur BTG 32 en dessous de 300 mm de pluie cumulée.

Il est possible aussi de suivre pour chaque site l'évolution de l'érosion averse par averse (voir exemple de PNI 13 en figure 90). Ceci conduit à distinguer deux types de comportements bien distincts :

a) diminution progressive et régulière de l'érosion tout au long des averses comme c'est le cas pour PNI 13, PNI 12, et LBA 41 ; en ce qui concerne PNI 11, nous disposons de trop peu de données pour pouvoir trancher ; on remarque des diminutions nettement moins importantes pour les sols à affleurement de gravolites (LBA 41 et surtout PNI 12),

b) variations importantes de l'érosion pour SPO 21, SPO 22 et BTG 32.

Dans le cas d'une érosion uniquement commandée par une abrasion en nappe, il est intéressant de rechercher quelle peut être l'influence des temps d'arrêt entre deux averses consécutives ; dans ce but nous avons suivi l'évolution des pentes des droites de régression en fonction de t_a (cf. figure n° 94). On observe dans trois exemples pour lesquels nous disposons de suffisamment de points (PNI 13, PNI 12, et LBA 41) une courbe "en auge" plus ou moins évasée. Après des érosions maximales entre 15 et 18 minutes, on assiste à une diminution pour des temps d'arrêt compris entre 30, 40 minutes et 3 heures à 6 heures selon les sites ; au delà l'érosion reprend de l'importance jusqu'à atteindre un palier plus ou moins bien défini. Ce phénomène est particulièrement apparent sur PNI 13, par contre les influences des temps d'arrêt sont très peu marquées pour LBA 41. Pour rendre compte de ce fait nous proposons une hypothèse qui devra évidemment être confirmée par un plus grand nombre d'informations :

- les plus fortes érosions peuvent s'expliquer dans le cas d'arrêts très courts par une reprise de sédiments encore bien humectés par l'averse précédente (composante C_{st}) ; dans le cas de temps d'arrêt très longs, il faut voir une reprise de matériaux facilement mobilisables : action de la faune (déjections, rejets divers), accentuation de la dessiccation fournissant des "écaillés" plus ou moins détachées du substratum, intervention sous ces latitudes de l'érosion éolienne (déflation et dépôts) ;

- les plus faibles érosions des temps d'arrêt intermédiaires correspondent à des sédiments suffisamment desséchés pour ne plus être immédiatement évacués et non encore remaniés par les actions mentionnées précédemment.

Les hauteurs et les extensions latérales des différents paliers seraient fonction des différents paramètres du sol (stabilité structurale, texture, teneur en éléments grossiers).

En résumé, les masses de terre érodées varient de façon importante d'un site à l'autre. On retrouve groupées vers les très faibles érodibilités les parcelles où affleurent les éléments grossiers. Il apparaît de plus en plus évident que les réorganisations structurales des premiers centimètres de sol sont susceptibles de modifier les niveaux d'érosion dans de larges proportions. On distingue en première approche deux types de comportements :

- Stabilisation de la parcelle au cours des différentes averses, l'érosion cumulée étant alors une fonction sensiblement linéaire des hauteurs de lame ruisselée ; cette stabilisation, qui s'acquiert assez rapidement, est une conséquence de la prédominance de l'érosion en nappe. Celle-ci se manifeste d'emblée mais reste à un niveau faible sur les parcelles suivantes :

- . PNI 12, avec par exemple pour l'averse n° 16 $E = 1,81 L + 0,32$
- . LBA 41, avec par exemple pour l'averse n° 16 $E = 7,18 L + 3,92$
- . BTG 32, avec par exemple pour l'averse n° 5 $E = 7,83 L + 4,53$

pour lesquelles la stabilisation acquise est telle que les durées de dessiccation de la surface du sol entre chaque averse interviennent peu. Cette érosion en nappe se manifeste plus tardivement et se maintient à un niveau encore modeste dans le cas des parcelles :

- . PNI 11, avec par exemple pour l'averse n° 9 $E = 2,25 L + 1,27$ ou atteint un niveau nettement plus élevé pour :
 - . PNI 13, avec par exemple pour l'averse n° 17 $E = 13,91 L + 37$,
- On notera pour cette dernière parcelle une influence nette des durées de dessiccation.

- Evolution irrégulière par combinaison d'une érosion en nappe et d'une érosion en ravines lors de la même averse ou pour des averses successives de ce fait les masses de terres érodées peuvent devenir plus importantes ;

- . SPO 22, averse n° 14, prédominance de l'érosion en nappe
 $E = 44,05 L - 26,22$
- . SPO 22, averse n° 16, apparition d'une érosion en ravine
 $E = 62,87 L + 0,70$

Dans le premier cas (stabilisation) on constate une diminution des maximums de turbidité (C_x) tout au long des averses, un palier C_x apparaît généralement dès la seconde averse. Dans le deuxième cas (sensibilisation) le maximum C_x tend à augmenter d'une averse à la suivante tandis que le palier C_x fluctue de façon importante.

5.1.2. Comportement des parcelles n° 2 (labourées) et étude comparative des deux parcelles.

5.1.2.1. Les érosions globales

Nous avons reporté sur la figure n° 95 les érosions globales en fonction des hauteurs de pluies utiles cumulées. Comme pour la figure n° 82 sont indiquées, en coordonnées semi-logarithmiques :

- les réactions des parcelles labourées à la première averse de hauteur 60 mm,
- les réactions aux averses suivantes de 10, 20, 30 mm de hauteur.

Sur sols initialement secs, les érosions sont faibles à nulles, les pertes en terre sont en moyenne dix fois moins élevées que sur sols non labourés ; on retrouve cependant un classement des érosions voisin :

- 0 à quelques kg/ha : PNI 12 et LBA 41
- de 25 à 40 kg/ha : PNI 11 et SPO 22
- de 120 à 140 kg/ha : PNI 13 et SPO 21

On notera que BTG 31 et BTG 32 recevant une première pluie à 90 mm/h ne figurent pas sur ce graphique.

Cette première averse fournit des turbidigrammes de type 4 sur PNI 13 et PNI 11, c'est-à-dire qu'à ce stade des essais, il est impossible de prévoir les évolutions ultérieures. Un pic de turbidité apparaît déjà par contre pour SPO 21 et SPO 22 (turbidigramme de type 3) qui évoluent donc plus rapidement. Les facteurs de diminution de l'érosion par rapport à la parcelle non remaniée oscillent entre 3,5 (SPO 21) et 26 (SPO 22).

Dès la seconde averse, donc pour environ 60 mm de hauteur de pluie il devient possible de mettre en évidence trois types de comportements

- l'érosion rejoint le niveau de la première parcelle, ce qui est remarquable pour PNI 13 et BTG 31 (parcelle préalablement irriguée) dont les graphiques des figures 82 et 95 se superposent presque exactement,
- les parcelles labourées s'érodent nettement plus dès cette seconde averse et cette érosion continue à s'accroître de façon importante jusqu'à des hauteurs de pluies cumulées de 150 à 180 mm (PNI 11, SPO 22, BTG 32) ; cet accroissement est plus modéré pour SPO 21 et LBA 41,
- enfin, on constate que le labour supprime presque totalement l'érosion sur PNI 12, au moins pour la durée des essais (380 mm de SP_u).

Une première comparaison de ces résultats permet de distinguer des sols dont l'érosion se stabilise rapidement, soit à des paliers élevés (PNI 13), soit à des paliers peu importants (LBA 41) et également des sols où l'érosion progresse considérablement et, semble-t-il de façon continue (SPO 22), ceci évidemment dans les limites des essais.

5.1.2.2. Les érosions partielles

5.1.2.2.1. Les composantes de la turbidité

- C_s -

Comme dans le cas de la parcelle non remaniée, nous avons tenté de distinguer les différentes composantes de la turbidité pour pouvoir mettre en évidence plus nettement l'érodibilité des sols de chaque site. Sur les premières parcelles, nous avons pu assez commodément dégager les pics "C" obtenus par un lissage correct des différents graphiques, or nous constatons que sur les parcelles labourées ce lissage est beaucoup plus délicat à réaliser, au moins pour les premières averses qui modifient rapidement la topographie. Dans ces conditions, plutôt que de retenir une valeur instantanée peu fiable nous avons préféré considérer une turbidité moyenne établie pour les cinq premiers millimètres de pluie efficace (C_{m 0-5mm}). Son mode de calcul a déjà été précisé précédemment (paragraphe 3.1.2.). Cette valeur (C_{m 0-5mm}) s'approche beaucoup de la turbidité C_s et nous avons pu constater que ses variations suivaient d'assez près celles des valeurs C_s lues lorsque le lissage le permettait.

Ces turbidités maximales évoluent d'une part en fonction du numéro d'ordre de l'averse et d'autre part vraisemblablement en fonction des temps d'arrêt séparant deux averses consécutives. Nous nous reporterons ainsi aux graphiques des figures 96 et 98 où sont respectivement exprimés :

$$C_{m 0-5mm} = f(SP_u)$$

et

$$C_{m 0-5mm} = f(ta)$$

Contrairement à ce que l'on observait sur parcelles non labourées, on constate généralement une augmentation de la valeur de C_s à la deuxième averse, celle-ci donnant lieu à des ruissellements plus importants. On doit cependant excepter les parcelles à affleurement de gravolites (PNI 11 et PNI 12) où l'on note soit un palier soit même une diminution de C_s. En dehors de ce cas, il semble que l'on puisse expliquer l'accroissement de la turbidité par une rugosité encore importante des parcelles qui s'opposerait à l'entraînement des sédiments formés par effet "splash" jusqu'au canal de ruissellement. La décharge devient par contre importante dès l'averse suivante car, à une composante C_{sp} propre à cette averse s'ajoute le stock non entraîné lors de la phase de vidange de l'averse précédente (C_{st}). En effet à partir de ce moment, toutes les zones aplanies de la parcelle sont susceptibles de participer au ruissellement et fournissent ainsi leurs éléments érodés (C_{st}) ou érodibles (C_{sp}).

A partir de ce moment, souvent lors de la troisième averse, on observe deux types de comportements qui rappellent les faits constatés sur la parcelle non remaniée :

- stabilisation progressive des parcelles PNI 13, LBA 41 (et probablement PNI 12 pour lesquelles nous manquons de données), du fait de la formation de pellicules de battance fixant plus ou moins nettement les intensités de ruissellement et les érosions à des valeurs paliers.

- sensibilisation croissante à une érosion en ravine pour SPO 22 où l'on observe une augmentation de C_n .

On remarque des variations à priori aléatoires sur les sols vertiques (BTG) où l'érosion en ravine doit intervenir mais où réapparaissent également de façon progressive les fissures et effondrements préalablement recouverts par les mottes de labour ; il faut remarquer que les essais sous pluies simulées sont peu adaptés à ce type de sol extrêmement hétérogène où les averses se succèdent à un rythme trop rapide pour que puisse se produire une réhumectation de grosses fentes et leur fermeture. Il est cependant vrai que les séquences d'averses que nous avons simulées peuvent se produire naturellement.

En ce qui concerne l'influence du temps d'arrêt sur ces turbidités maximales, on retrouve (figure n° 98) la même forme de dépendance en liaison avec la texture et la teneur en éléments grossiers, (voir paragraphe 5.1.1.2) mais cette influence est ici moins marquée puisque nous ne considérons que la première phase du ruissellement.

- C_x -

Lorsque nous en avons eu la possibilité, nous avons également exprimé les valeurs C_x en fonction des pluies utiles cumulées (figure n° 77). Comme dans le cas de la parcelle non remaniée, les données sont peu nombreuses puisqu'elles ne proviennent que des turbidigrammes de type 1 et 2 issus d'averses suffisamment longues. On constate que les paliers $C_x = C_n$ ou les pseudo-paliers $C_x = C_n + \epsilon C_{sp}$ rejoignent plus ou moins rapidement les valeurs observées sur la première parcelle (PNI 13, PNI 12 et LBA 41). Nous manquons par contre de données pour suivre les évolutions des courts paliers pendant lesquels prédomine l'érosion en nappe sur SPO 21 et surtout SPO 22 avant l'apparition de l'incision ; il semble que pour SPO 22 ces turbidités avoisinent les 6 g/l entre 110 et 130 mm de Pu.

5.1.2.2.2. Les érosions partielles en relation avec les phases caractéristiques du ruissellement (figures n° 99 à 102)

- phases transitoires du ruissellement

En exceptant la première averse tombant sur un sol sec, on constate que les différents couples SE, SPe s'ajustent selon une régression linéaire pour les parcelles PNI 13, SPO 21 et LBA 41. La linéarité est moins apparente pour BTG 32 et elle n'apparaît pas du tout sur SPO 22 où les turbidigrammes observés sont fréquemment de type 3 ou 4

- phases de régime permanent du ruissellement

La régression est toujours linéaire pour PNI 13. Elle l'est à peu près sur LBA 41 et ne le devient qu'au delà de la quatrième averse sur SPO 22 et BTG 32. Cette augmentation et cette stabilisation tardive de l'érosion sont plus difficiles à suivre sur les turbidigrammes où les paliers de turbidité ne sont que rarement observés (type 3).

On constate que, quoique stabilisées les valeurs de C_x dépassent celles des parcelles non labourées. Les érodibilités s'ordonnent de la façon suivante :

. pendant la phase transitoire : SPO 22 > PNI 13 > SPO 21 > BTG 32 > LBA 41

. pendant la phase du régime permanent : SPO 22 > PNI 13 ≈ BTG 32 > LBA 41.. le déclassement de BTG 32 entre les deux phases est dû à la longueur du temps de montée de ses hydrogrammes et au fait que les turbidigrammes issus des deux premières averses sont de type 4 : le maximum C_s n'est pas identifié, on constate seulement un accroissement jusqu'à une valeur C_u .

5.1.2.2.3. Evolution des érosions en fonction des lames ruisselées - $E = f(L)$ -

La même démarche que précédemment a été adoptée, les différentes évolution des érosions sont représentées graphiquement sur les figures n° 104 à 106. On a conservé comme exemple d'évolution pluie par pluie la parcelle PNI 13 labourée (figure n° 103). Viennent ensuite les évolutions des autres sites pour les situations suivantes : premières pluies sur sol sec (figure n° 104), série de pluies suivantes sur sol humide avec différents temps d'arrêt entre chaque averse (figure n° 105), ultimes pluies à 60 mm/h (figure n° 106). Dans ce dernier cas, les données sont peu nombreuses et il n'est possible de tracer les droites de régression que pour PNI 13, SPO 22 et LBA 41 qui ont subi un protocole long.

Sur sol sec, on peut distinguer quatre types de comportements :

a) Pour PNI 13, SPO 21 et SPO 22 les érosions sont considérablement limitées en raison du démarrage tardif du ruissellement, la lame ruisselée n'atteint que 1,6 mm sur SPO 22 et 4 à 5 mm sur PNI 13 et SPO 21 ; l'érosion progresse de la même façon que sur la parcelle non remaniée sur PNI 13 (rapport d'érodibilité : $p_2/p_1 = 1,40$);

b) La parcelle BTG 32, qui reçoit, il est vrai, une première averse à 90 mm/H fournit d'emblée des turbidités maximales (C_s) considérables avoisinant les 14 g/l. Si la phase d'imbibition est particulièrement longue ($P_i = 8,9$ mm) les intensités du ruissellement montent ensuite très haut, il en résulte une érosion 3,5 fois plus importante que celle de la parcelle non labourée. Nous avons ajouté sur la même figure, à titre indicatif, les résultats observés sur BTG 31 (labour effectué sur sol humide) : on constate que l'érosion bien qu'importante, progresse légèrement moins vite. Le comportement hydrologique de cette parcelle reste cependant très voisin de celui sur labour en sec : pluie d'imbibition très longue ($P_i = 15,4$ mm), montée rapide du ruissellement, turbidités encore très fortes (11,5 g/l).

c) La parcelle PNI 11 a fourni très peu de ruissellement aussi est-il difficile d'y caractériser toute évolution, il semblerait que son érosion soit plus forte que sur parcelle non remaniée.

d) Les parcelles PNI 12 et LBA 41 n'ont donné lieu à aucun ruissellement.

Pour cette situation de labour effectué sur sol sec, on dégage le classement suivant : BTG 32 >> PNI 13 > SPO 22 > SPO 21 > PNI 11 > PNI 12 = LBA 41.

Sur sol humide, les comparaisons sont plus aisées car l'on dispose de plus de données, on distingue de nouveau quatre types de comportements :

a) L'érosion est très élevée et toujours plus importante que sur la parcelle non remaniée : BTG 32 et SPO 22. Pour BTG 32 cette évolution confirme la première observation sur labour sec, la turbidité reste environ 10 fois plus importante et, passées les deux premières averses, les ruissellements augmentent jusqu'à un niveau comparable à celui de la première parcelle. Il en résulte une érosion 10 fois plus importante. Nous disposons de peu de données sur BTG 31, on remarque cependant que les turbidités restent moins fortes. Pour SPO 22, le labour entraîne un gain d'infiltration sensible pendant toute cette série de pluies, malheureusement les turbidités sont nettement plus élevées que sur la parcelle non remaniée, nous avons aussi vu que les débits solides y sont surtout alimentés par les maximums C_s ; il en résulte un rapport $p_2/p_1 = 2,81$ qui a cependant tendance à décroître au cours des averses successives.

b) On peut ensuite regrouper dans une gamme assez resserrée d'érodibilités plus faibles les parcelles labourées des sites PNI 11, PNI 13 et SPO 21. Cependant la comparaison de leur comportement avec celui de la parcelle non remaniée nous conduit à introduire la distinction suivante :

- sur PNI 11 les gains à l'infiltration sont importants mais les turbidités se trouvent multipliées par 5 à 8 ; au bilan et sous réserve d'essais plus longs, l'érodibilité de cette parcelle est 7 à 9 fois plus forte que sur la première ; tout dépendra donc de la durée de maintien d'une forte perméabilité,

- pour SPO 21, le gain d'infiltration est temporaire et les débits solides sont en moyenne quatre fois plus importants que sur sol naturel du fait d'un accroissement sensible et durable des turbidités,

- le comportement de la parcelle labourée de PNI 13 rejoint très rapidement celui de la première parcelle, en effet, le gain à l'infiltration n'est obtenu que lors de la première averse et l'augmentation des turbidités est temporaire ; on observe cependant à l'occasion des dernières averses à 60 mm une diminution légère de l'érodibilité par rapport à la première parcelle.

c) La parcelle labourée de LBA 41 s'érode environ 2,5 fois plus que sa voisine sur sol naturel jusqu'à environ 150 mm de S_{Pu} ; au delà leurs niveaux d'érosion tendent à se rejoindre mais la lame infiltrée reste constamment plus importante ; le débit solide ne se maintient au niveau de la première parcelle que par une augmentation sensible de la turbidité C_x ; la structure du sol en surface est donc devenue stable.

d) La parcelle PNI 12 n'a donné qu'une érosion insignifiante (quelque 20kg/ha pour 407 mm de SPU). Rappelons que le labour a considérablement amélioré sa perméabilité.

Sur ces labours humides la désagrégation des mottes est donc plus ou moins rapide et l'on classe les érodibilités de la façon suivante : BTG 32 > SPO 22 >> PNI 13 > SPO 21 ≈ PNI 11 > LBA 41 >> PNI 12

Ces comportements comparatifs peuvent se résumer de la façon suivante :

- le labour supprime totalement l'érosion sur PNI 12 qui de toutes façons ne fournissait sur sol naturel que des érosions peu importantes,
- identité assez remarquable des deux parcelles de PNI 13, l'effet du labour ne se manifestant plus au delà de la seconde averse,
- action néfaste du labour, en ce qui concerne l'érosion, pour SPO 22 et LBA 41 entre 80 et environ 170 mm de pluies utiles cumulées au delà desquelles les comportements des deux parcelles tendraient à se rejoindre,
- action néfaste persistante du labour pour PNI 11 et SPO 21 où l'érosion continue à progresser considérablement plus que sur sol non remanié.

Il est évidemment hasardeux d'affirmer que ces situations dureront. On se bornera à noter que pour des hauteurs de précipitations simulées correspondant au tiers ou à la moitié des hauteurs de précipitations naturelles annuelles, ^{ces évolutions} consécutives à une mise en culture donnent déjà une bonne indication sur les risques encourus.

En ce qui concerne les modalités de l'érosion, l'analyse des turbidigrammes permet de distinguer dans une certaine mesure les parcelles où se combinent érosion en nappe et érosion par incision : on estime, comme sur sol non labouré, que cette combinaison existe pour SPO 22 et qu'elle commence à se manifester de façon aléatoire sur BTG 32 et PNI 11. En revanche sur PNI 13 et LBA 41 l'érosion en nappe s'exerce seule.

Pour l'influence des temps d'arrêt entre chaque averse, nous avons repris la représentation graphique des pentes des différentes droites de régression caractéristiques des érodibilités en fonction de ces temps de ressuyage (figure n° 107). On retrouve pour PNI 13 et l'on trouve pour LBA 41 une forte dépendance aux temps d'arrêt avec des inflexions dessinant la même courbe en auge que précédemment ; les faibles érosions s'étalent entre 30, 40 minutes et 3 à 5 heures de temps d'arrêt. Cette fourchette est malheureusement définie plus approximativement, par manque de données, vers les très longues interruptions. On fournit également les graphiques relatifs à quelques autres sites uniquement à titre indicatif car on sait déjà que pour étudier l'influence de ce facteur "temps d'arrêt" il fallait s'assurer d'une certaine constance dans les modalités de l'érosion. Cette réserve étant faite on constate :

- pour SPO 21, des liaisons très lâches entre l'érodibilité et les temps d'arrêt ce qui revient à dire que dans ce cas interviendrait le numéro d'ordre de l'averse ou encore sa hauteur,

- pour BTG 32, une liaison faible jusqu'à environ 5 heures de temps d'arrêt au delà duquel les érodibilités élevées observées jusqu'alors peuvent décroître mais nous manquons de renseignements pour les très longues interruptions,

- une forte liaison pour SPO 22 en ce sens que l'érodibilité décroît sensiblement avec les durées d'interruption.

peuvent s'expliquer. Dans beaucoup de cas les maximums correspondant aux faibles valeurs de t_a de la même façon que plus haut : reprise facile d'un sédiment encore suffisamment humide. Pour les évolutions ultérieures, nous ne pouvons proposer que des hypothèses de travail s'ajoutant aux précédentes ou les précisant (paragraphe 5.1.1.2.3.). On remarque que dans le cas présent où les exemples sont plus nombreux, ces différences d'évolution sont liées à des différences de texture des matériaux soumis à l'érosion ; pour des temps d'arrêt très longs permettant une dessiccation des sédiments ayant auparavant atteint la limite de liquidité (composante C_{st}) ou une dessiccation du sol en place (C_n, C_{sp}, C_c), nous pensons que la dessiccation entraîne pour les plus fines textures, la formation de plaquettes rebroussées plus ou moins détachées du substrat donc plus facilement mobilisables (PNI 13). Cette dessiccation aurait par contre beaucoup moins d'effets sur des dépôts de texture plus grossière où les alternances d'humidité ne fournissent pas ces structures (SPO 21 et SPO 22). Ceci expliquerait l'évolution plus marquée de SPO 21, mais il faut rechercher d'autres raisons pour rendre compte des diminutions d'érodibilité repérées sur SPO 22.

5.2. Evolution de l'érosion sous des averses d'intensités variées.

5.2.1. Remarques préliminaires.

Des expériences récentes réalisées en basse Côte d'Ivoire par C. VALENTIN ont permis de préciser les performances du simulateur de pluies notamment en ce qui concerne les relations entre énergies cinétiques et intensités des arrosages. C. VALENTIN adoptant la méthode de C.W. HUDSON (1964) détermine des classes de diamètre de gouttes de pluie pour chaque intensité et leur vitesse d'impact à la surface du sol. Partant de là, les énergies cinétiques d'averses unitaires ou des séquences d'averses peuvent être déterminées avec précision et, comme nous le verrons ultérieurement, éventuellement comparées avec celles obtenues à l'aide de formules établies pour une prédiction de l'érosion. Nous renvoyons au travail de C. VALENTIN (1977, 1978) pour le développement méthodologique utilisé et signalons qu'une étude comparative des énergies dispensées par les pluies simulées et les pluies naturelles est actuellement en cours en basse Côte d'Ivoire. N.W. HUDSON (1973) avait en effet effectué toute une série de déterminations d'énergies cinétiques sous pluies naturelles en Rhodésie et il est évident qu'il faut attendre les résultats d'essais similaires effectués en basse Côte d'Ivoire pour avoir confirmation de ces ajustements Intensité-Energie (cf Tableau n° XXXVII ci-après).

Tableau n° XXXVII : Energies cinétiques ous pluies naturelles et simulées par mm de pluie, en joules/mm/m² (d'après N.W. HUDSON et C. VALENTIN)

(Intensités (mm/h) :	30	60	90	120
(----- :				
(Ec. pluie naturelle :	27,1	27,7	28,8	29,0
((HUDSON) ----- :				
(Ec. simulateur :	36,1	40,9	31,4	32,4
((VALENTIN) ----- :				
(Ec. sim/Ec. nat.(%) :	133	147	109	112
(----- :				

Au vu de ces résultats et en tenant compte des réserves émises précédemment, on constate que les performances de l'appareil sont relativement correctes aux fortes intensités mais que l'on observe des énergies trop fortes aux basses intensités. Si l'on prend comme base de raisonnement l'équation universelle de prédiction de l'érosion (W.H. WISCHMEIER et D.D. SMITH - 1960)

$$E = K \cdot R \cdot S_L \cdot C \cdot P \quad \text{avec} \quad \left\{ \begin{array}{l} E = \text{érosion prévisible en tonnes/hectare} \\ K = \text{facteur d'érodibilité du sol} \\ R = \text{facteur d'érosivité du climat } (=E_c \cdot I_m \cdot P_u) \\ S_L = \text{indice topographique} \\ C = \text{techniques culturales} \\ P = \text{pratiques anti-érosives} \end{array} \right.$$

.. il nous reste à étudier ici l'érosion en fonction du seul facteur variable

$$R = P_u \cdot I_m \cdot E_c$$

étant donné que les essais se sont déroulés sur des pentes extrêmement voisines (exceptés PNI 11 et SPO 21), sur des sols dépourvus uniformément de végétation et ayant subi les mêmes traitements. On peut même pratiquement se borner à ne considérer que le facteur ($I_m \cdot E_c$) puisque la durée des quatre averses a été calculée pour que l'on obtienne des hauteurs P_u identiques voisines de 20 mm. Par simplicité, dans ce qui suit, compte tenu de l'assez forte dispersion des résultats expérimentaux concernant l'érosion globale, on se contentera d'étudier cette dernière en fonction du seul facteur I_m ce qui revient à négliger l'influence des variations d'énergie cinétique.

5.2.2. Erosions globales comparées entre les deux parcelles d'un couple pour des intensités d'averses différentes.

Nous avons représenté sur les graphiques de la figure n°108 les différentes relations :

$$E = f(I_m)$$

E représentant l'érosion totale en fin d'averse et I_m les intensités d'averses réellement obtenues après le pré-réglage de l'appareil sur des valeurs 30, 60, 90, et 120 mm/h. A ce niveau on peut dégager les comportements généraux suivants :

- influence très faible des modifications d'intensité pour BTG 31 non labouré et faible pour PNI 13 (parcelle labourée),

- érosions insignifiantes quelles que soient les intensités pour PNI 12 (deux parcelles),

- influence plus sensible sur les parcelles des autres sites avec cependant les particularités suivantes :

. accroissement général de l'érosion de 30 à 90 mm/h puis ralentissement et parfois même diminution de celle-ci au delà de 90 mm/h (PNI 13, PNI 11.2, SPO 22.1 et 2, BTG 32.2., LBA 41.2)

. comportement à première vue aléatoire des parcelles non remaniées de PNI 11 et LBA 41 où, d'une averse à la suivante, les variations de l'érosion se font en "dents de scie" mais ne concernent il est vrai que de faibles masses de terre.

On observe enfin toutes les différences possibles entre sols non remaniés et sols labourés, les érosions peuvent être remarquablement voisines quelles que soient les intensités (SPO 22), ou extrêmement différentes (SPO 21).

Malgré une tendance générale confirmant l'équation de WISCHMEIER et SMITH (érosion croissant avec l'intensité) on constate certaines anomalies dont nous nous proposons de rechercher les causes.

5.2.3. Evolution de l'érosion par site et par classe d'intensité

Les graphiques des figures n° 109 à 115 représentent, pour chaque site et pour toutes les intensités les érosions en fonction des lames ruisselées cumulées des deux parcelles.

5.2.3.1. Parcelles PNI 13 (figure n° 109)

Les différentes relations $E = f(L)$ s'ordonnent approximativement selon des droites de pentes respectives p_1 et p_2 pour les parcelles 1 et 2 traduisant les évolutions suivantes :

L'averse n°15 tombant sur la parcelle labourée a donné lieu au développement d'un turbidigramme de type 2 ce qui explique l'augmentation de l'érosion. Les ajustements sont plus strictement linéaires pour toutes les autres situations. Qu'il s'agisse de la première ou de la deuxième parcelle, on observe une indépendance très nette aux variations d'intensité. En ce qui concerne la parcelle non remaniée, les faibles érosions et l'absence de liaison avec l'intensité sont à attribuer aux affleurements d'éléments grossiers comme c'était le cas sur la parcelle non labourée de PNI 12. Le labour a par contre ramené en surface un structi-gravolite (49 % d'éléments grossiers en poids) contenant encore, après les 14 averses précédentes suffisamment d'éléments fins meubles érodibles pour que cette deuxième parcelle exporte de 6 à 10 fois plus de terre que la première parcelle.

Par rapport à l'averse n°9 dont $I_m = 56,7$ mm/h, l'averse n°16 ($I_m = 57,9$ mm/h) donne lieu à une érosion identique ; l'averse n°15 à $28,9$ mm/h n'a donc apporté aucune modification sur l'érosion de la parcelle non labourée ; on ne peut donc plus évoquer une "action sensibilisatrice" de l'averse à 30 mm/h ; on note par contre une très légère diminution de l'érosion sur la parcelle non remaniée. Enfin, les pics de turbidité ne bougent pas entre les averses n° 9 et 16 ($0,6$ g/l sur la parcelle non remaniée et $3,7$ g/l sur la parcelle labourée au cours de ces deux averses).

5.2.3.4. Parcelles SPO 21 (figure n° 112)

Les ajustements de E en L sont encore linéaires ; on note un bon regroupement des droites sur la parcelle naturelle mais une dispersion importante sur la parcelle labourée.

Averse n°	I_m (mm/h)	Parcelle n°1	Parcelle n°2	p2/p1
15	30,4	$E = 4,35 L + 9,39$ (n=5)	$E = 21,36 L + 2,93$ (n=5)	4,91
16	74,0	$E = 2,66 L + 48,68$ (n=6)	$E = 33,84 L + 7,59$ (n=5)	12,72
17	90,5	$E = 5,63 L - 0,81$ (n=6)	$E = 42,30 L - 14,65$ (n=7)	7,51
18	120,6	$E = 4,28 L + 39,11$ (n=5)	$E = 58,77 L - 50,02$ (n=5)	13,77

L'augmentation de l'érosion perceptible sur la deuxième parcelle recevant l'averse n° 18 est due à une reprise de l'incision qui est d'ailleurs confirmée par l'aspect du turbidigramme. Pour les autres averses, les turbidigrammes sont de type 1 ou 3. Sur la parcelle non remaniée, l'évolution de l'érosion est, cette fois encore, très peu influencée par les modifications d'intensité. Etant donné la différence importante, et accidentelle, d'intensités entre l'averse n°16 ($I_m = 74$ mm/h) et l'averse n° 14 ($I_m = 61$ mm/h), il est difficile d'effectuer les mêmes comparaisons que précédemment, on peut cependant remarquer que, même avec 13 mm/h de différence, cette parcelle semble s'être remarquablement stabilisée du fait de la constitution d'une pellicule de battance. Par contre l'effet du labour continue à se faire fortement sentir au delà de 14 averses et l'on découvre

en plus ici, une nette relation de proportionnalité entre les érosions et les intensités. Il nous faut donc admettre que la pellicule de battance dont nous évoquons le rôle stabilisant sur la première parcelle ne se constitue toujours pas, ou, plus précisément, ne se reconstitue pas après le labour ; cette évolution confirme d'ailleurs ce qui a été évoqué antérieurement (paragraphe 5.1.2.2.) : "action néfaste persistante du labour pour SPO 21.2 où l'érosion continue à progresser considérablement". Ces érosions de 5 à 14 fois plus importantes sont dues à la formation de ravines d'où l'adjonction d'une composante de turbidité due à l'incision (C_x) s'ajoutant à celle provenant exclusivement de l'érosion en nappe, aussi le palier C_x passe-t-il entre 30 et 120 mm/h de 2,1 g/l à 6,2 g/l ; ceci apparaît très nettement sur le graphique de la figure n° 116.

5.2.3.5. Parcelles SPO 22 (figure n° 113)

Les essais se déroulant sur ce site furent malheureusement assez fréquemment interrompus par des incidents techniques (blocage des turbines d'électro-pompes par des sédiments sableux) aussi disposons-nous de moins de données. Nous avons cependant essayé d'exploiter ces résultats.

(averse n°	: Im (mm/h)	: parcelle n°1	: parcelle n°2	: p2/p1
(17	: 28,8	: E = 29,86 L + 119,07 (n=4)	: E = 46,99 L - 14,89 (n=5)	: 1,57
(18	: 58,8	: E = 51,15 L + 40,64 (n=5)	: E = 56,25 L + 100,87 (n=4)	: 1,10
(19	: 88,2	: E = 63,43 L + 262,37 (n=4)	: E = 62,66 L + 229,42 (n=5)	: 0,99
(20	: 122,2	: E = 46,81 L + 216,34 (n=5)	: E = 65,45 L + 19,39 (n=4)	: 1,40

Sur ce site où ont été observées les érosions les plus fortes la liaison avec l'intensité de la pluie n'est pas très nette, en particulier par les valeurs élevées de cette dernière. L'évolution générale de ce site peut se résumer de la façon suivante : après une phase d'érosion ravinante perceptible sur les turbidigrammes des deux parcelles lors de l'averse n°2 ou encore sur le turbidigramme de la parcelle labourée pour l'averse n°5, on assiste à une stabilisation du site à la suite de la formation d'une pellicule de battance ; les variations d'intensité ne modifient dès lors que très peu la surface du sol. Ceci est confirmé par les quelques valeurs des paliers de turbidité (C_x) dont nous disposons (figure 116) : quelles que soient les parcelles et les intensités, les turbidités avoisinent les 5 g/l et l'on peut alors supposer qu'à ce stade des essais $C_x = C_n$. On notera d'ailleurs la valeur particulièrement élevée de cette érosion en nappe.

5.2.3.6. Parcelles BTG 32 (figure n° 114)

Nous ne disposons que de données issues de trois intensités (30, 60 et 90 mm/h), une panne de moto-pompe nous ayant en effet empêché de réaliser l'averse à 120 mm/h. Les variations de E en L sont encore linéaires sur les deux parcelles :

(Averse n° :	Im (mm/h) :	parcelle n° 1 :	parcelle n° 2 :	p2/p1 :
(18 :	29,1 :	E = 5,36 L - 0,46 (n=5) :	E = 21,16 L + 1,84 (n=6) :	3,95 :
(19 :	58,3 :	E = 5,06 L + 2,82 (n=5) :	E = 29,12 L + 18,67 (n=6) :	5,75 :
(20 :	90,7 :	E = 7,41 L + 2,73 (n=5) :	E = 31,39 L + 21,78 (n=5) :	4,24 :

Nous avons supposé que lors de la précédente averse à 60 mm/h, l'érosion en nappe prédominait sur la parcelle non labourée ; des durées d'averse trop courtes n'avaient pas permis d'atteindre les paliers de turbidité sur la seconde parcelle (turbidigramme de type 3). Pour cette série d'averses, nous attribuons les faibles variations d'une intensité à l'autre, au maintien de la pellicule de battancesur la parcelle naturelle ; une comparaison des érosions consécutives aux averses n° 5 et 19 confirme d'ailleurs cette tendance puisque l'on observe dans ces deux cas des évolutions voisines. En ce qui concerne la parcelle labourée, on voit que l'érosion augmente sensiblement de 30 à 60 mm/h puis se stabilise ensuite de 60 à 90 mm/h ; au total le sol labouré s'érode encore entre 4 et 6 fois plus que le sol non remanié.

5.2.3.7. Parcelles LBA 41 (figure n°115)

On constate encore un ajustement linéaire des couples E, L :

(averse n° :	Im (mm/h) :	parcelle n° :	parcelle n° :	p2/p1 :
(17 :	31,2 :	E = 5,92 L + 5,09 (n=5) :	E = 9,67 L + 4,77 (n=5) :	1,6 :
(18 :	59,3 :	E = 3,70 L + 5,17 (n=5) :	E = 9,13 L - 8,19 (n=5) :	2,5 :
(19 :	88,4 :	E = 5,55 L - 5,43 (n=5) :	E = 11,81 L + 9,46 (n=5) :	2,1 :
(20 :	120,5 :	E = 4,67 L + 1,13 (n=5) :	E = 8,68 L - 2,85 (n=5) :	1,9 :

On constate d'une part, que les deux parcelles réagissent très peu aux variations d'intensité et, d'autre part que le labour s'érode environ deux fois plus ; or, nous avons vu que lors des précédentes averses à 60 mm/h (n°14 à 16), les comportements des deux parcelles étaient devenus voisins. Cette reprise de l'érosion à l'occasion de modifications d'intensités semble ici avoir pour cause, comme pour le site PNI 13, une action sensibilisa-

trice sur la pellicule de battance de la parcelle labourée, intervenant lors de l'averse n° 17 à 31,2 mm/H. On peut en effet penser qu'une averse de faible intensité ne donnant lieu qu'à des transports négligeables possède néanmoins une énergie suffisante pour détruire la cohésion de la mince couche superficielle du sol, permettant ainsi aux averses ultérieures d'attaquer plus facilement les couches meubles sous-jacentes du labour.

5.2.4. Influence des variations d'intensité sur les principales composantes de la turbidité.

Nous venons de voir apparaître des relations entre érosions et intensités d'averses qui dans certains cas peuvent être peu marquées sinon inexistantes.

Lorsque la dépendance est bien nette, nous mettons en cause :

- la reprise ou la poursuite de l'effet "splash" pendant la phase de régime permanent des écoulements. On a alors $C_x = C_n + C_{sp}$ avec une composante C_{sp} qui croît avec l'intensité de la pluie (PNI 13.2, BTG 32.2 et probablement LBA 41.2).

- une érosion ravinante se combinant à un effet "splash" localisé, soit $C_x = C_n + C_c + C_{sp}$ (SPO 21. 1 et 2).

Lorsque les liaisons sont plus floues ou inexistantes on doit chercher l'explication au niveau :

- des affleurements d'éléments grossiers (PNI 12 sur les deux parcelles, PNI 11 sur la parcelle non labourée surtout),

- de la constitution lors des averses précédentes d'une pellicule de battance qui limite les érosions aux seules abrasions en nappe, $C_x = C_n$, (PNI 13.1, PNI 11.2, SPO 22.1, BTG 32.1, LBA 41.1 et 2).

Il apparaît également ce que nous appelons "une action sensibilisatrice" des averses à faible intensité qui, lorsqu'elles s'intercalent dans une séquence d'averses à intensités plus fortes, entraînent une reprise notable de l'érosion sur parcelles labourées.

On se propose à présent de pousser l'analyse un peu plus avant en étudiant les relations entre C_x et C_s d'une part et I_m d'autre part.

5.2.4.1. Influence de l'intensité d'averse sur C_x

Nous donnons sur la figure n° 116 les valeurs des paliers de turbidité en fonction des différentes intensités, pour les deux parcelles d'un certain nombre de sites ayant fourni des turbidigrammes de type 1 ou 2.

Il apparaît pour de nombreuses parcelles une remarquable constance des paliers C_x et, pendant les phases du régime permanent du ruissellement se manifeste uniquement une érosion en nappe, $C_x = C_n$. Cette turbidité apparaît donc comme étant une constante d'érodibilité des parcelles considérées. Ceci confirme la tendance que nous avons évoquée pour des averses à 60 mm/h (paragraphe 5.1.1.).

Dans deux cas (PNI 13.1 et SPO 21.2) C_x croît en fonction de l'intensité de l'averse. Il faut donc supposer qu'à l'érosion en nappe viennent s'ajouter une ou plusieurs autres formes d'érosion dues à l'impact des gouttes d'eau sur une plus ou moins grande superficie de parcelle exondée (C_{sp}) ou encore à des effouillements locaux (C_c) :

- dans le cas de PNI 13.2 fournissant des turbidigrammes de type 1, les valeurs du palier C_x augmentent peu et l'on peut considérer qu'à chaque instant on a : $C_x = C_n + C_{sp}$,

- dans le cas de SPO 21.2 fournissant lors des averses n° 15 et 18 des turbidigrammes de type 2, on aura : $C_x = C_n + C_{sp} + C_c$.

Nous manquons de données pour certaines parcelles car leurs turbidigrammes sont de type 3 ou 4, signalons cependant que sur SPO 22.1 et SPO 22.2, la composante $C_x = C_n$ semble prédominer à partir de l'averse n° 17.

5.2.4.2. Influence de l'intensité d'averse sur C_s

Les figures 117 et 118 montrent les évolutions des turbidités maximales en fonction des intensités moyennes d'averse pour toutes parcelles et tous sites. Ces variations de C_s n'interviennent que pour une faible part au niveau de l'érosion globale et nous avons constaté que cette dernière dépendait principalement de la valeur C_x ; cependant, la prise en considération de cette turbidité maximale s'impose dans le cas d'averse de courtes durées. On observe trois types de comportements :

- très faibles liaisons avec l'intensité de l'averse pour : PNI 11.1, PNI 12.1 et 2, en limite, LBA 41.1 ; ceci s'explique par une dispersion de l'énergie cinétique sur les affleurements d'éléments grossiers (PNI 11 et 12), mais il faut par contre invoquer pour LBA 41 des causes multiples et encore difficiles à départager, qui peuvent être :

. pellicule de battance résistant à l'impact des gouttes, d'où une faible composante C_{sp} ,

. phase transitoire très courte avec formation d'une lame d'eau de hauteur D_m suffisamment épaisse pour isoler rapidement le sol (cf. fig. 67).

. faiblesse de la composante C_{st} due aux faibles turbidités des eaux de la phase de vidange de l'averse précédente,

. non récupération de ces mêmes sédiments trop desséchés (temps d'arrêt trop long)

- forte liaison avec l'intensité et croissance continue sinon régulière de cette turbidité maximale entre 30 et 120 mm/h pour : PNI 13.1, SPO 21.2, LBA 41.2 et éventuellement BTG 32. 1 et 2 (données peu nombreuses),

- fortes liaisons avec l'intensité de 30 à 90 mm/h puis indépendance ou décroissance pour 120 mm/h ce qui est le cas de PNI 13.2, PNI 11.2, SPO 21.1, SPO 22.1 et 2.

Le deuxième type de comportement est plus généralement en accord avec la relation : $R = f(I \times E_c)$ mentionnée dans le paragraphe 5.2.1 ; les quelques anomalies (SPO 22.1 ou PNI 13.1) pouvant s'expliquer par des variations relatives et aléatoires de C_{sp} ou de C_{st} dans le cumul donnant la turbidité maximale C_s .

Les paliers ou les diminutions de C_s entre 90 et 120 mm/h, (troisième type de comportement) infirment l'équation précédente et l'on remarque que c'est plus fréquemment le cas des parcelles labourées. Des observations de terrain nous autorisent à assimiler cette diminution des pics de turbidité à celle de sa principale composante C_{sp} ; en effet, pour ces très fortes intensités, les durées d'imbibition (t_i^{sp}) pendant lesquelles se constitue la détention superficielle (D) sont très courtes (cf Tableau XXXIX) et d'autre part cette détention augmente toujours avec l'intensité de l'averse d'où une interception plus ou moins importante de l'énergie des gouttes.

Tableau n° XXXIX Durées d'imbibition " t_i " pour des averses d'intensités croissantes.

Im (mm/h)	PNI 13.2	PNI 11.1	SPO 21.1	SPO 22.1	SPO 22.2
30	2'02"	2'16"	6'46"	3'11"	2'21"
60	1'03"	1'49"	2'38"	1'05"	0'53"
90	0'49"	1'24"	1'46"	0'46"	0'40"
120	0'46"	1'09"	1'11"	0'11"	0'36"

5.3. Evolution de l'érosion sur parcelles soumises à différents traitements cultureux.

5.3.1. Protocoles et résultats

Pour les sites soumis à des protocoles expérimentaux longs (cf. par. 2.2.1), la dernière averse est appliquée sur des parcelles ayant subi des nouveaux traitements :

- traitement B : la parcelle n°1 (anciennement en l'état naturel) est labourée puis aménagée en buttes cloisonnées, les caractéristiques de cet aménagement étant les suivantes :

- . hauteur des buttes, 35 cm
- . équidistance dans deux directions, 100 cm
- . hauteur des diguettes entre butte adjacentes, 18 cm
- . densité des buttes et des cuvettes, 1 par m2.

- traitement C : la parcelle n° 12 est relabourée de la même façon qu'en début de protocole puis recouverte uniformément par un mulch de pailles à raison de 10 tonnes par hectare en utilisant soit des chaumes de sorgho (PNI 13 et PNI 12) soit des graminées adventives (BTG 32).

Seuls les résultats des sites PNI 13, PNI 12 et BTG 32 sont totalement exploitables en raison d'une part d'incidents techniques n'ayant pas permis de traiter SPO 22 et en raison d'autre part de la perte d'une partie des échantillons en provenance de LBA 41 lors du retour en Côte d'Ivoire.

Les figures 54 et 55 puis 120 à 123 rassemblent les courbes de ruissellement et d'érosion relatives à ces essais et les principales données de base chiffrées sont regroupées dans le tableau XLI .

5.3.2. Etude comparative des différentes situations.

On se propose dans ce paragraphe de mettre en évidence les différences de comportement des trois sites tant au point de vue ruissellement qu'en ce qui concerne les pertes en terre. On rappelle que les traitements pratiqués visent à favoriser au mieux l'infiltration de la pluie et, par voie de conséquence, à éviter une trop forte érosion.

5.3.2.1. Influence des techniques culturales sur le ruissellement et l'infiltration

L'infiltration peut être favorisée de deux façons :

- soit en différant au maximum l'apparition du premier ruissellement, c'est-à-dire en allongeant la durée d'imbibition t_i ,
- ou encore en augmentant les intensités d'infiltration pendant la phase de ruissellement.

En ce qui concerne la phase d'imbibition, on constate que les premiers écoulements peuvent apparaître très tôt, principalement pour le traitement B, l'intensité de ruissellement correspondante restant très faible (entre 1,0 et 2,5 mm/H) jusqu'à un temps t_{i1} . Si l'on prend en compte ces écoulements parasites qui ne proviennent que des zones situées à proximité immédiate du canal collecteur, les durées d'imbibition sont comprises entre 5 et 20 minutes et il leur correspond les hauteurs P_i mentionnées dans le tableau XLI. En fait, si l'on considère les temps t_{i2} à partir desquels les parcelles réagissant en totalité, il leur correspond des hauteurs de pluie d'imbibition beaucoup plus élevées pouvant dépasser 60 mm (voir tableau XXX au chapitre précédent).

On remarque également que l'instauration du régime permanent de ruissellement peut être plus ou moins rapide. Le temps de montée $t_m - t_i$ est par exemple très court pour BTG 32.B tandis qu'il est beaucoup plus long pour PNI 12.C.

Les coefficients globaux de ruissellement K_r et les hauteurs infiltrées W traduisent globalement ces deux effets. On trouvera leurs différentes valeurs rassemblées dans le tableau XLII qui permet également

TABLEAU XLI - Données relatives aux traitements culturels particuliers.

					Traitement B (buttes cloisonnées)						Traitement C (Mulch)					
Site	N°	Im	Pu	ta	Rx	Pi	L	E	Cs	Cu	Rx	Pi	L	E	Cs	Cu
	averse	mm/H	mm		mm/H	mm	mm	kg/ha	g/l	g/l	mm/H	mm	mm	kg/ha	g/l	g/l
PNI.13	26	61,9	113,4	17H00	36,5	20,1	29,0	1683	9,4 8,2	4,8	28,0	20,5	19,0	415	3,6 2,9	1,7
PNI.12	27	60,9	182,7	15H13	6,7	12,8	8,4	180	2,6	1,3	11,5	16,5	20,6	135	1,6	0,3
BTG.32	21	93,4	93,4	16H20	70,0	12,8	25,6	452	11,8	7,0	93,4	6,7	20,7	569	3,7	0,6
LBA.41	21	62,4	111,9	15H30	11,2	8,7	9,3	-	-	-	0,2	6,4	0,5	-	-	-

Remarque : les deux valeurs de Cs fournies pour PNI 13 correspondent à deux maximums distincts de turbidité.

de comparer les réactions des parcelles traitées avec celles d'une parcelle simplement labourée recevant une averse de mêmes caractéristiques.

Tableau n° XLIII : Comparaison des coefficients de ruissellement, des hauteurs infiltrées pour les traitements A, B, C.

Traitements :		B		C		A	
Sites	n°	Kr	W	Kr	W	Kr	W
	1	2	3	4	5	6	7
PNI 13	26	25,6	84,4	16,8	94,4	67,3	35,8
PNI 12	27	4,6	174,3	11,3	162,1	5,4	172,8
BTG 32	21	27,4	67,8	22,2	72,7	24,2	69,4
LBA 41	21	8,3	102,6	0,4	111,4	15,0	25,4

Les chiffres de ce tableau font généralement apparaître une meilleure infiltration sous le labour paillé. Ceci est net pour PNI 13 où le traitement C assure, par rapport au traitement A un stockage 2,6 fois plus important, ce rapport n'est que de 2,3 sous buttes cloisonnées (traitement B).

Ce comportement est encore vrai pour BTG 32 et LBA 41 mais les différences d'infiltration entre les deux traitements s'atténuent beaucoup. Sur BTG 32, les améliorations par rapport au simple labour deviennent insignifiantes, on a en effet les rapports : $W_B / W_A = 0,97$ et $W_C / W_A = 1,05$. On note par contre pour LBA 41 dans les deux cas un effet bénéfique important avec $W_B / W_A = 4,04$ et $W_C / W_A = 4,38$.

En ce qui concerne PNI 12, la parcelle traitée en buttes cloisonnées infiltre mieux que le labour paillé, mais les gains par rapport au témoin simplement labouré sont insignifiants à nuls, on a en effet : $W_B / W_A = 1,01$ et $W_C / W_A = 0,94$.

Il semble que l'on puisse rattacher pour PNI 12 et BTG 32 ces identités approximatives de comportement aux caractéristiques de leurs horizons de surface :

- sur PNI 12, les traitements B et C ne remanient que des matériaux très filtrants car riches en éléments grossiers et la rugosité résultant par exemple du traitement B est peu apte à modifier le système car les sommets de

buttes, de diguettes, et les fonds des cuvettes gardent, au moins au début, des perméabilités fortes et équivalentes ; pour ce qui concerne le traitement C, l'interception de l'énergie des gouttes de pluie par le paillage était déjà presque aussi efficacement réalisée par l'affleurement du gravolite.

- sur BTG 32, nous supposons que ces deux traitements ont redégagé sous l'horizon perturbé une partie des plus grosses ouvertures (fissures, cavités) superficiellement colmatées par la "fonte" des mottes lors des averses précédentes ; les comportements consécutifs aux traitements A, B et C sont dès lors voisins, il suffit pour s'en assurer de comparer les hydrogrammes des averses n° 21 de BTG 32 et n° 1 de BTG 31 (sol identique, labour récent sur sol humide).

L'examen du tableau XLII permet également de classer les parcelles et leurs différents traitements dans l'ordre des infiltrabilités décroissantes :

PNI 12 . B > PNI 12 C > LBA 41 C > LBA 41 B > PNI 13 C > PNI 13 B >
BTG 32 C > BTG 32 B

Par ailleurs, l'examen direct des hydrogrammes montre que :

- sur PNI 12 toutes les conditions sont remplies pour une très forte infiltration (durées d'imbibition et temps de montée très longs, valeurs faibles des paliers ou pseudopaliers de ruissellement),

- les mêmes remarques peuvent être faites à propos des parcelles de PNI 13 et LBA 41 B, les valeurs des paliers ou pseudo-paliers de ruissellement étant toutefois plus élevées,

- en revanche, sur BTG 32, les intensités maximales de ruissellement sont peu différentes de celles obtenues en l'absence de traitements particuliers et les gains à l'infiltration sont presque uniquement dûs au retard à l'apparition du ruissellement.

5.3.2.2. Influence des techniques culturales sur l'érosion (voir figures 54, 55 et 120 à 123)

Etant donné que les labours à l'origine des traitements B et C mélangent les sédiments meubles laissés par la dernière averse avec la terre du sol en place, la composante C_{st} est très amplifiée dans la première phase de l'érosion et ne peut donc être examinée comme précédemment.

Sur tous les sites, on retrouve des aspects déjà connus de l'évolution des turbidités en fonction des phases caractéristiques du ruissellement : en effet qu'il s'agisse de turbidigrammes à un ou deux maximums C, ces pics correspondent toujours à des modifications importantes du régime des écoulements donc à des modifications rapides de la surface de la parcelle.

Du fait de l'absence des échantillons sur LBA 41, nous ne pouvons comparer que les sites PNI 13, PNI 12, BTG 32 et les commentaires qui peuvent être faits sont donc loin d'être exhaustifs ; nous distinguons deux types de comportements déduits de l'observation des turbidigrammes :

- 1) turbidigrammes à deux pics correspondant aux parcelles à long temps d'imbibition t_i et à modifications saccadées du régime du ruissellement : PNI 13 B et C,

- 2) turbidigrammes à un seul pic, à t_i généralement plus courts et à diminution importante des turbidités pendant la phase du régime permanent des écoulements : PNI 12 et BTG 32.

L'évolution de l'érosion dans le premier cas a déjà été évoquée dans le paragraphe 4.3.2.2., nous en reprendrons succinctement les principaux points :

- les traitements B et C fournissent des turbidigrammes d'aspects voisins

- le premier pic Cs₁ (cf. figure n° 55) correspond à la désagrégation des mottes situées à proximité du canal et dont l'évacuation des éléments érodés est possible, il s'agit donc principalement de la composante Csp due au "splash" (traitement B et C). Sur la parcelle B, non protégée de l'impact direct des gouttes, Csp atteint des valeurs très élevées (9,14 g/l) qui sont réduites de moitié sur la parcelle C mieux protégée.

- pendant le premier palier des ruissellements parasites, la turbidité décroît pour se maintenir à une valeur sensiblement constante de 5,6g pour le traitement B et de 2,4 g/l pour C. Sans les modifications ultérieures que nous allons voir, ces deux systèmes B et C limités à quelque 1 à 2,5 m² de parcelle fonctionneraient de la même façon que la totalité de la superficie et à ce stade les turbidigrammes seraient de type 1,

- le deuxième pic Cs₂ correspond à une montée franche (B) ou saccadée (C) du régime du ruissellement consécutive aux ruptures en chaîne des diguettes ou aux effondrements simultanés des mottes de labour (C), les dépôts des 50 cuvettes provenant des multiples colluvionnements locaux peuvent dès lors être en partie évacués (B) ; le colmatage des porosités (C) permet l'entraînement par ruissellement des matériaux désagrégés ; on remarque dans les deux cas que, sans être rigoureusement identiques, les rapports des hauteurs des deux pics C_s sont néanmoins comparables :

- . traitement B - Cs 1 / Cs 2 = 1,11
- . traitement C - Cs 1 / Cs 2 = 1,38

Bien qu'étant certainement très intéressant pour des hauteurs de pluie plus faibles, le traitement B perd une grande partie de son efficacité au delà de 65 minutes (P_u = 67 mm). On voit en effet les débits Q_s atteindre ce qu'il était commun d'observer sur les deux parcelles non traitées ou anciennement labourées (800 à 1000 g/sec/ha) et, en définitive, pour P_u = 113,4 mm dont 84,4 mm d'infiltration, l'érosion atteint quand même près de 1,7 T/ha. Le traitement C est en revanche plus intéressant sur les plans infiltration (W = 94,4 mm) et érosion (E = 0,4 T/ha) pour les mêmes valeurs de P_u et de t_u.

Dans le second cas, (PNI 12 et BTG 32) les turbidigrammes deviennent plus spécifiques de chaque traitement, en effet, pour le traitement "buttes cloisonnées" le turbidigramme est beaucoup plus "massif", les accroissements ou les diminutions de la turbidité sont progressifs et l'on ne peut plus vraiment parler de "pics" Cs. Ceux-ci réapparaissent par contre sur le traitement "labour + mulch" (c). Mais dans les deux cas les turbidités maximales continuent à s'observer en début de phase transitoire de ruissellement. Nous supposons que l'aspect massif des turbidigrammes issus des traitements B résulte de la fusion des deux pics qui caractérisaient le cas précédent, en effet, au moins pour BTG 32, les ruptures des diguettes

interviennent assez rapidement ($t_t = 30$ mn) et les turbidité maximales rappellent alors celles observées sur les parcelles fraîchement labourées recevant une averse de même caractéristique :

- (Cs de BTG 31.2, averse n° 1 /Cs de BTG 32. B, averse n° 21) = 0,97
Pour PNI 12, en adoptant la même démarche, on trouve un rapport beaucoup plus faible :

- (Cs de PNI 12.2, averse n°3 / Cs de PNI 12.B, averse n°27) = 0,11
... les plus fortes turbidités de cette averse n° 27 sont dues au fait que pour édifier ces buttes cloisonnées, il a fallu labourer plus profondément donc ramener en surface un plus grand taux de matériaux fins, meubles et érodibles.

Sur les labours paillés (C) réapparaissent des pics de turbidité mieux individualisés mais toujours plus faibles que les maximums précédents :

- Cs de PNI 12.C = 1,62 g/l
- Cs de BTG 32.C = 3,74 g/l
... ce qui est normal du fait de la protection offerte par le mulch.

Au bilan, les deux traitements fournissent des résultats voisins car pour des caractéristiques d'averses identiques on observe :

- sur PNI 12.B : 0,18 T/ha
- " PNI 12.C : 0,13 T/ha
- et sur BTG 32.B : 0,45 T/ha
- " BTG 32.C : 0,57 T/ha

... ajoutons que pour le site BTG 32 les comportements sont extrêmement proches puisque les érosions mentionnées précédemment se rapportent à des hauteurs de lame ruisselée très voisines ($L_B = 25,6$ mm et $L_C = 20,7$ mm). Il n'en est pas de même pour PNI 12 où, si nous dépassons le stade du bilan, pour exprimer cette fois l'érosion en fonction de la lame ruisselée, on découvre que le traitement B devient dangereusement érosif au delà de 90 minutes. On assiste en effet à la rupture en chaîne des diguettes lorsque la capacité de rétention du système est dépassée, ce qui entraîne des charges relativement élevées (supérieures à 2 g/l) pendant la phase du régime permanent des écoulements. Il en résulte, à lame ruisselée identique, une érosion 10 à 20 fois plus importante que sur parcelles naturelles ; on note cependant que les turbidités tendent à décroître légèrement au bout de 150 minutes d'averse.

Toujours sur PNI 12, on observe par contre que le traitement C assure une bien meilleure protection ; il nous est malheureusement difficile de comparer l'expression de $E = f(L)$ avec celles des averses précédentes car celles-ci n'ont jamais duré suffisamment longtemps pour donner lieu à des ruissellements importants. On remarque simplement que d'une part, pour des ruissellements faibles (inférieurs à 1 mm) et des situations voisines (averse n° 4 sur la parcelle 2), les érosions restent plus faibles sur labours paillés et que, d'autre part, 0,13 T/ha constitue une perte de terre insignifiante pour une lame ruisselée relativement importante de 20,6 mm.

On a résumé succinctement ces observations dans le tableau ci-après en regroupant les temps d'imbibition vrais (ti_2) et les turbidités maximales pour le traitement C.

parcelles et traitements	ti_2	C_s (ou C_{s2})
PNI 12. C	45 mn	1,6 g/l
PNI 13. C	55 mn	2,9 g/l
BTG 32. C	21 mn	3,7 g/l

Nous supposons en effet que ces ti_2 correspondent au temps nécessaire pour colmater les porosités par destruction des mottes de labour ; cette destruction fournit des sédiments meubles contribuant à l'augmentation de charge C_s . L'érodibilité serait donc proportionnelle aux C_s et inversement proportionnelle aux temps ti ce qui donne l'ordre d'érodibilité décroissante suivant :

BTG 32 > PNI 13 > PNI 12 qui est tout à fait logiquement l'inverse de l'ordre des infiltrabilités (cf. paragraphe 5.4.2.1.).

5.4. Comparaison des érodibilités des différents sites à l'aide d'une équation de prévision de l'érosion.

5.4.1. Objectif et démarche méthodologique

En vue de comparer les résultats obtenus ici sous pluies simulées avec ceux fournis par E. ROOSE (1977) à l'issue d'observations sous précipitations naturelles, il nous a semblé intéressant de calculer les indices d'érodibilités correspondant à chacun des sites testés. Pour cela, nous avons appliqué l'équation universelle de prévision de l'érosion établie par W. H. WISCHMEIER et D.D. SMITH (1960) et déjà présentée au paragraphe 5.2.1.

Cette équation permet en effet de calculer un indice d'érodibilité du sol :

$$K = E / R \cdot SL \cdot C \cdot P \cdot 2,24 \quad \text{avec :}$$

- E = masse de terres érodées en T/ha mesurée au cours d'une averse ou d'une série d'averses. Ces données sont rassemblées dans les tableaux XVII à XXIV du paragraphe 3.2.1.

- R = indice d'érosivité (ou d'agressivité) pour une pluie unitaire ou pour une séquence d'averses. Cet indice est défini pour une pluie unitaire comme étant le produit de l'énergie cinétique par l'intensité maximale de la pluie pendant 30 minutes consécutives ($R = E_c \cdot I_{30}$).

Pour le calcul pratique de R nous avons déterminé l'énergie cinétique E_c de deux façons :

1° en utilisant les valeurs obtenues par C. VALENTIN (1977-1978) pour différentes classes d'intensité du simulateur (cf. par. 5.2.1.) ; d'où une première valeur de R_1 ,

2° en utilisant l'équation de régression logarithmique de WISCHMEIR et SMITH (1958) reliant l'énergie cinétique à l'intensité de l'averse,

$$E_c = 1214 + 890 \log I$$

d'où une deuxième valeur R_2

- SL = facteur topographique (à ne pas confondre avec la lame d'eau ruisselée cumulée) qui traduit les influences conjuguées de la longueur (L) et de l'inclinaison (S) de la parcelle :

$$SL = \frac{L}{100} (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2)$$

où C = facteur "couvert végétal" et
 P = facteur "pratiques anti-érosives".

Dans le cas de sols nus, sans affleurement d'éléments grossiers (PNI 13, SPO 22, BTG 32) nous avons $C = P = 1$.

Par contre pour d'autres parcelles, toujours dénudées, mais à affleurements plus ou moins denses d'éléments grossiers, si nous pouvons conserver $C = 1$, il nous est en revanche impossible de négliger l'effet mulch de ces affleurements. Mais il est difficile d'évaluer P pour des taux, des granulométries et des répartitions d'éléments grossiers sensiblement différents d'un site à l'autre.

5.4.2. Résultats

A titre d'exemple, le tableau XLIII rassemble le détail des calculs de R_1 , R_2 , K_1 et K_2 pour la parcelle PNI. 13:2. Le même principe a été adopté pour tous les autres sites.

Tableau n° XLIII : Détermination des indices d'érosivité, parcelle PNI 13. 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	59,8	40,9	27,9	59,8	2445,8	146260	1668	99746	126
2	60,2	40,9	28,0	30,1	1231,1	74111	843	50748	877
3	61,2	40,9	28,0	30,6	1251,5	76594	856,8	52436	843
4	59,9	40,9	27,9	29,9	1222,9	73252	834,2	49968	687
5	61,4	40,9	28,0	30,7	1255,6	77095	859,6	52779	756
14	58,8	40,9	27,9	9,8	400,8	23568	273,4	16076	159
17	59,7	40,9	27,9	9,9	404,9	24173	276,2	16489	142
22	29,0	36,1	25,1	19,3	696,7	20205	484,4	14048	457
23	58,4	40,9	27,9	19,5	797,6	46576	544,0	31770	573
24	82,7	31,4	29,2	17,9	562,1	46482	522,7	43228	589
25	113,2	32,4	30,4	18,9	612,4	69319	574,5	65033	639
Total						$R_1 = 677638$		$R_2 = 492322$	5848

- colonne n° 1 : numéro de l'averse,
- " 2 : Intensité moyenne de l'averse en mm/h
- " 3 : Energie cinétique "Ec₁" en joules/mm/m², mesurée au simulateur par C. VALENTIN,
- " 4 : Energie cinétique "Ec₂" en joules /mm/m², calculée par la formule de WISCHMEIER et SMITH
- " 5 : Hauteur de la pluie utile "Pu" en mm,
- " 6 : Energie cinétique par averse "Ec₁ x Pu" en joules/m²
- " 7 : Indice d'érosivité partiel R₁ et total (unités décimales) = $\frac{677638}{1735,6} = \underline{\underline{390,4}}$
- " 8 : Energie cinétique par averse "Ec₂ x Pu" en joules/m²
- " 9 : Indice d'érosivité partiel R₂ et total (unités décimales) = $\frac{492322}{1735,6} = \underline{\underline{283,7}}$
- " 10 : Erosions partielles et totales en Kg/ha

On a donc : $R_1 = 390,4$ et $R_2 = 283,7$
 $SL = 0,0743$ (avec $L = 32,8$ pieds et $S = 0,9$ %)

d'où $K_1 = 0,09$ et $K_2 = 0,12$.

Le tableau n° XLIV regroupe les résultats obtenus pour les différents sites ; nous y avons adjoint, à titre comparatif, les indices d'érodibilité des parcelles naturelles (1) tout en gardant l'indice C = 1 ce qui n'est pas abusif si l'on se rappelle l'absence de matière végétale aérienne et la rareté des reliquats de système racinaire.

Tableau n° XLIV : Récapitulatif par sites et par parcelles des indices d'érodibilité.

			parcelles non labourées				parcelles labourées			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
PNI 11	:207	:157	::(0,0018)	: 6	:(0,0024)	: 7	::(0,0045)	: 7	:(0,0060)	: 7
PNI 12	:432	:299	::(0,0009)	: 7	:(0,0013)	: 8	::(0,0002)	: 8	:(0,0004)	: 8
PNI 13	:390	:284	::0,087	: 1	: 0,120	: 1	::0,090	: 1	: 0,120	: 1
SPO 21	:274	:199	::0,060	: 3	: 0,0082	: 6	::0,0197	: 5	: 0,027	: 5
SPO 22	:418	:313	::0,087	: 1	: 0,116	: 2	::0,074	: 3	: 0,098	: 3
BTG 31	:238	:207	::0,076	: 2	: 0,088	: 3	::0,086	: 2	: 0,099	: 2
BTG 32	:432	:348	::0,015	: 5	: 0,019	: 5	::0,061	: 4	: 0,075	: 4
LBA 41	:447	:327	::(0,018)	: 4	:(0,025)	: 4	::(0,016)	: 6	:(0,023)	: 6

- 1 : Référence du site
- 2 et 3 : Indices R_1 et R_2
- 4 et 6 : Indices d'érodibilité K_1 et K_2 de la première parcelle
- 8 et 10: " " de la seconde parcelle
- 5, 7, 9, et 11 : classement des érodibilités.

La comparaison des indices K entre parcelles labourée et non labourée peut donner une idée de l'évolution de l'érodibilité dans le temps si l'on admet que la parcelle n° 1 représente le stade le plus dégradé d'un ancien labour.

On rappelle que les sols de PNI 11, PNI 12 et LBA 41 comportent des affleurements d'éléments grossiers en plus ou moins grandes quantités. Et puisque la valeur P = 1 a néanmoins été conservée, les valeurs correspondantes de K ont été mises entre parenthèses dans le tableau.

5.4.3. Commentaires

Les indices K que nous avons calculés sont toujours plus faibles que les "valeurs retenues" par E. ROOSE (1977) sur deux stations de la Haute Volta : Gampéla (sol proche de celui de LBA 41) et Saria ; ils se rapprochent par contre de ses valeurs minimales (moyennes des minimums ou minimums absolus ?). Les performances du simulateur ne sont pas à mettre en cause car les indices d'érosivité des pluies simulées sont remarquablement voisins de ceux calculés par E. ROOSE (1977).

E. ROOSE a déjà mis en évidence un gradient de susceptibilité des sols à l'érosion depuis la basse Côte d'Ivoire jusqu'au Centre Haute-Volta allant dans le sens d'une augmentation de l'érodibilité depuis les sols ferrallitiques jusqu'aux sols ferrugineux. D'après nos essais, et les déterminations de "K" qu'ils permettent, les sols testés entreraient dans la catégorie des sols très peu érodibles ($K \approx 0,10$). Mais il faut signaler que nous ne sommes intervenus qu'à une période particulière de l'année et que, même en multipliant les essais, nous n'avons obtenu qu'une fourchette de données compatibles avec des caractéristiques d'un complexe "sol-végétation" de saison sèche, aussi les éventuelles modifications saisonnières de K nous échappent-elles vraisemblablement.

Nous avons précédemment évoqué (5.3.2.) la possibilité de "télescoper le temps" par la comparaison des érodibilités de deux parcelles, supposant, avec quelques réserves, que la parcelle 2 pouvait représenter le stade initial et la parcelle 1 un stade beaucoup plus avancé dans l'évolution du labour, qu'en est-il ici ?

- pour les sites PNI 13, SPO 22 et LBA 41, on constate (cf tableau n° XLIV) que les indices restent voisins, ces sols seraient donc peu susceptibles d'être modifiés par la jachère et se stabilisent à différents paliers d'érodibilité,

- pour les sites SPO 21 et éventuellement PNI 12 (érodibilité insignifiante), les indices augmentent fortement ce qui traduirait une sensibilisation dangereuse à l'érosion provoquée par la mise en culture sans que la mise en jachère améliore quoi que ce soit,

- pour les sites PNI 11 et BTG 32, les érodibilités diminuent du fait de la mise en jachère.

Ces observations corroborent les résultats des comparaisons faites dans les paragraphes précédents où nous distinguons notamment soit une tendance à la stabilisation soit une tendance à la sensibilisation sur les mêmes séries des parcelles.

Avec $P = 1$ et en choisissant K_1 , le tableau XLIV donne les classements suivants par érodibilités décroissantes :

Le classement des érodibilités figurant sur le tableau XLIV indique la répartition suivante (avec K_1 et $P = 1$)

- parcelles 1 : PNI 13 = SPO 22 > BTG 31 > SPO 21 > LBA 41 >
BTG 32 > PNI 11 > PNI 12,

.. si nous essayons de dégager l'influence des affleurements d'éléments grossiers sur PNI 11, 12 et LBA 41 en divisant le coefficient "p" par 50 pour PNI 11 et PNI 12 (en moyenne 60 % de nodules ferrugineux) et par 10 pour LBA 41 (12 % de nodules ferrugineux), nous obtenons le nouveau classement suivant :

LBA 41 > PNI 11 > PNI 13 = SPO 22 > BTG 31 > SPO 21 > PNI 12 > BTG 32,

.. la protection des affleurements de gravolite est donc très nette pour LBA 41 qui remonte de trois rangs et surtout PNI 11 qui remonte de cinq rangs. Cette correction est, il est vrai, introduite assez arbitrairement par comparaison avec la valeur de "P" pour un paillis continu, qui est de 0,01.

- parcelles 2 :

* avec "P" = 1 nous obtenons le classement : PNI 13 BTG 31 SPO 22
BTG 32 > SPO 21 > LBA 41 > PNI 11 > PNI 12 et l'on constate peu de différence par rapport au classement correspondant au sol non labouré,

* avec P = 1 ; 0,1 ; 0,02 nous avons PNI 11 > LBA 41 > PNI 13 ≥
BTG 31 > SPO 22 > BTG 32 > SPO 21 > PNI 12, et même remarque que précédemment en ce qui concerne le rôle des affleurements de gravolites sur les sols de PNI 11, PNI 12 et LBA 41.

CONCLUSIONS

Grâce au simulateur de pluie, cette mission a permis une première approche assez fine des phénomènes de ruissellement et d'érosion en région soudano-sahélienne. Les méthodes d'analyse et d'interprétation des données ayant bénéficié de résultats acquis ultérieurement à l'issue d'opérations plus ponctuelles, nous espérons avoir su mettre en évidence tout ce que cette nouvelle méthodologie peut apporter comme amélioration par rapport aux études plus classiques entreprises sur parcelles en régime naturel de précipitation.

A mesure que progressait l'analyse des données de cette campagne il est apparu que les protocoles expérimentaux mis en oeuvre devaient être améliorés. C'est ainsi que l'étude de l'influence des intensités d'averse sur le ruissellement et l'infiltration n'a pu être que partiellement abordée car le protocole ne prévoyait qu'une seule séquence d'averses à différentes intensités. Malgré cette réserve, les résultats acquis sont nombreux et tout à fait conformes aux buts initiaux poursuivis et nous nous proposons ici de résumer les faits les plus saillants en dehors des conclusions purement hydrologiques présentées plus haut au paragraphe 4.6.

Sur le plan agronomique, trois techniques culturales ont été testées en vue de favoriser l'infiltration et de limiter l'érosion. Les résultats obtenus sont sensiblement différents selon les techniques et les sites expérimentaux retenus.

Le simple labour, créant une macroporosité importante dans les premiers décimètres de sol favorise l'infiltration, mais, la permanence de son effet dépend de la stabilité structurale des mottes créées artificiellement. On a pu mettre en évidence trois types de comportements :

- sur les sites PNI 13, SPO 21, BTG 31 et 32, le labour n'est efficace que lors des premières averses, c'est-à-dire jusqu'à environ 150 mm de pluie ; au delà de cette hauteur, les caractéristiques du ruissellement rejoignent rapidement celles des parcelles non labourées. Il apparaît par surcroît que ces parcelles se rangent parmi les plus érodibles (cf. paragr. 5.1.2.2.3.), qu'il s'agisse uniquement d'une forte érosion en nappe (PNI 13) ou de l'adjonction d'une érosion ravinante (BTG 31).

- sur les sites PNI 11, SPO 22 et LBA 41, les gains à l'infiltration sont considérables jusqu'à un total de pluies cumulées d'environ 250 mm en raison de l'importance, d'une part des pluies d'imbibition et, d'autre part, des intensités minimales d'infiltration qui restent constamment supérieures à celles observées sur des parcelles non labourées. Toutefois, les turbidités sur labour étant de quatre à dix fois plus fortes que sur parcelles en l'état naturel, l'efficacité du labour sur le plan de la lutte anti-érosive dépend essentiellement du maintien de fortes perméabilités (PNI 11, LBA 41).

- enfin, sur PNI 12 le labour remanie un matériau riche en éléments grossiers, les gains à l'infiltration deviennent cinq fois plus importants et cet effet semble durable ; les turbidités restent très faibles et l'érosion est insignifiante.

Une caractérisation synthétique retenant comme critères favorables une faible érodibilité et une forte infiltrabilité aboutit, pour les sols simplement labourés, à proposer le classement suivant : PNI 12 > LBA 41 > PNI 11 > SPO 21 > SPO 22 > PNI 13 > BTG 32. Ce classement qui correspond en fait à la permanence des effets du labour fait apparaître une liaison assez nette avec les textures des sols des différents sites depuis les sols riches en éléments grossiers (PNI 12) jusqu'aux sols argileux à argilo-sableux (BTG 32).

Les deux autres techniques culturales, buttage cloisonné et paillage, qui furent employées sur les sites PNI 13, PNI 12, BTG 32 et LBA 41 ont permis de voir que le paillage d'un labour constituait plus généralement la meilleure protection possible ; de ce fait les infiltrations sont maximales et l'érodibilité se maintient à un niveau très faible. Le traitement "buttes cloisonnées" perd doucement de son efficacité à partir de 60 mm de pluies utiles cumulées. Au delà de ce seuil on rejoint le comportement des parcelles simplement labourées ; cette pratique devient même vraisemblablement néfaste à la longue sur des sols riches en éléments grossiers car il entraîne à l'affleurement une "terre" moins graveleuse qui va s'épuiser plus ou moins rapidement en éléments fins. Si, comme précédemment nous combinons les deux caractères les plus favorables, nous observons le classement suivant (B signifiant "buttes cloisonnées" et C "paillage") : PNI 12 C ≈ PNI 12 B > LBA 41 C ≈ LBA 41 B > PNI 13 C > BTG 32 C ≈ BTG 32 B > PNI 13 B.

Sur le plan hydro-pédologique, nous n'avons pas observé de relations bien nettes entre les susceptibilités globales à l'érosion et à l'infiltration et les caractéristiques pédologiques des différentes parcelles. En effet, des sols très différents peuvent avoir des comportements voisins ; c'est par exemple le cas des sites SPO 21 ou 22 et BTG 32. En exceptant les sols à affleurement de gravolite qui présentent des réactions particulières, les perméabilités sont, dans l'ensemble, très faibles. Rappelons, à titre d'exemple, que l'on trouve toujours des hauteurs de pluie d'imbibition voisines de 10 mm dans la zone étudiée alors que celles-ci sont beaucoup plus dispersées et de toute façon entre cinq et dix fois plus importantes dans les zones méridionales plus humides correspondant au domaine ferrallitique. Il apparaît de plus en plus évident qu'en zone soudano-sahélienne, la conductivité hydraulique des quelques centimètres proches de la surface du sol est le paramètre influençant le plus fortement le comportement hydrodynamique et l'érodibilité des sols : il en résulte une convergence de comportements quelles que soient les différenciations pédologiques des horizons sous-jacents.

On en arrive ainsi à distinguer deux cas extrêmes :

- sur les sites à affleurement du gravolite, l'infiltration est favorisée, l'énergie des gouttes de pluie est dissipée et par conséquent les variations des intensités des averses modifient peu l'érosion.

- sur les sites où se constitue une pellicule de battance la perméabilité est minimale mais l'érosion s'en trouve également limitée.

Dans le cas de sols meubles, la vitesse de constitution de cette pellicule de battance est en liaison avec la stabilité structurale des premiers horizons ; il a été possible d'évaluer cette stabilité en comparant les comportements des parcelles fraîchement labourées avec ceux de parcelles non remaniées . Les mottes à faible stabilité se désagrègent rapidement, les porosités se colmatent, la perméabilité diminue, la rugosité de la parcelle décroît et l'érodibilité atteint rapidement une valeur palier ne dépassant pas celle de la parcelle non labourée (exemple de PNI 13). Les mottes à plus forte stabilité structurale se désagrègent plus lentement et, de ce fait, la rugosité se maintient à un niveau élevé, l'érosion reste longtemps plus importante que celle de la parcelle non remaniée (exemple de BTG 32). Ceci peut paraître contradictoire si l'on oublie que les éléments minéraux les plus fins qui s'épandent après désagrégation des mottes sont susceptibles de s'organiser en micro-horizon qui reste stable dans une fourchette de contraintes donnée (érosivité de la pluie, caractéristiques topographiques, etc.).

Les comparaisons des turbidigrammes ont mis en évidence sur les sites PNI 13, PNI 12 et LBA 41 une érosion en nappe prédominante ; les parcelles PNI 11, SPO 21, SPO 22 et BTG 32 peuvent par contre s'éroder occasionnellement (labour, modification d'intensité) en ravine, il en résulte des pertes en terre largement plus importantes que dans le cas précédent. On notera cependant que sur des toposéquences complètes l'apparition des ravines est certainement plus fréquente et a des conséquences plus visibles que sur parcelle. Il en résulte que le comportement d'une toposéquence n'est pas celui d'une juxtaposition de parcelles étagées sur le versant. L'effet induit par les écoulements amont est important (ravines, apports et dépôts d'éléments solides) tandis que sur une parcelle limitée à l'amont, on assiste à un appauvrissement d'averse en averse sans compensation possible.

En tenant compte de ces remarques, on peut toutefois dessiner les grands traits de la dynamique superficielle des versants sur les séquences de POUNI (sur shistes) et de SAINT-PAUL (sur quartzites) pour lesquelles nous disposons de points d'observation suffisamment nombreux.

93
Sur la séquence de Pouni (cf. paragr. 1.2.1 et figure n°3), le segment de la zone de raccordement (n° 4 = PNI 11) est très peu perméable, il se comporte comme un impluvium récupérant les eaux et les déversant sur le cinquième segment à affleurements gravoliques très perméables (PNI 12) où cette eau peut être stockée jusqu'à environ 350 mm de pluies ; au delà de cette hauteur, la perméabilité tend à décroître. Le segment médian et aval (n° 6 = PNI 13) à brachy et ortho-apexols argilo-sableux, très peu perméable, est de nouveau le lieu d'importants ruissellements mais il ne lui parvient heureusement que peu d'écoulements de l'amont. Sur jachère ou sous végétation naturelle, les érosions sont faibles sur le segment de raccordement qui ne fait que 50 m de longueur ; elles sont quasiment nulles sur le segment moyen amont qui atteint 500 m mais redeviennent importantes sur le segment médian-aval de 500 à 700 m avec cependant peu de risques d'atteindre des niveaux catastrophiques du fait de la prédominance d'une érosion en nappe. Dans l'hypothèse d'une mise en culture avec simple labour de la totalité du versant, les gains à l'infiltration seront importants sur le segment de raccordement tant par une augmentation de la pluie d'imbibition que par un accroissement des intensités d'infiltration ; il faudra veiller à ce que cette diminution du ruissellement puisse être durable car d'une part les

turbidités des eaux recueillies sont 5 à 8 fois plus fortes que sur sol non remanié et d'autre part cette zone est susceptible de s'inciser en ravines. Les gains d'infiltration sont considérables et durables sur le segment n° 6, l'érosion y reste insignifiante mais nous avons vu que l'exportation incessante bien que faible de la "terre" meuble risquait d'appauvrir le sol en colloïdes minéraux et organiques déjà peu abondants ; les effets du labour sont par contre éphémères sur les 500 à 700 m de versants suivants et l'on retrouve des ruissellements et érosions identiques à ceux des sols non remaniés.

Sur la séquence de Saint-Paul (cf. paragraphe 1.2.1 et figure n° 4) le segment du glacis de piémont (n° 2 = SPO 21) est très perméable en début de séquence pluvieuse ; par la suite cette perméabilité décroît sensiblement du fait de la progression du front d'humectation dans des horizons hétérogènes. La portion de versant correspondante est très peu étendue, aussi interfère-t-elle peu sur le comportement du long segment suivant (n° 3 = SPO 22) à sols sableux et sablo-argileux dont l'infiltrabilité de surface est extrêmement limitée. Sous végétation naturelle ou sous jachère, le court segment amont s'érode peu ; par contre le segment médian-aval cède des quantités très importantes de terre du fait de la combinaison d'une forte abrasion en nappe et d'un ravinement se manifestant surtout au dessus de 2 % de pente. Le labour n'améliore pas l'infiltrabilité du segment de piémont qui risque en revanche de s'éroder environ quatre fois plus que le témoin non remanié. Vers l'aval, les gains à l'infiltration sont appréciables et les effets résiduels du labour sur l'infiltrabilité semblent durables, malheureusement les érosions sont très importantes entre 80 et 170 mm de pluies cumulées ; au delà on retrouve un comportement voisin de celui des sols sous jachère.

BIBLIOGRAPHIE

1. BIROT (Y.) - Economie de l'eau et travail du sol dans les plan-
GALABERT (J.) 1970 tations forestières de zone sèche. Application à
71 la zone soudano-sahélienne. Bois et Forêts des
Tropiques, I 127, p. 29 - 44 ; II, 128, p. 23-31 ;
III, 129, p. 3-21.
2. BOULET (R.) 1968 - Etude pédologique de la Haute-Volta, région Centre-
Nord, rapport ORSTOM multigr. 351 p.
3. BOULET (R.) - Etude pédologique de la Haute-Volta, région Est,
LEPRUN (J.C.) 1969 rapport ORSTOM multigr. 331 p.
4. BRUNET-MORET (Y.) - Etudes générales des averses exceptionnelles en
1967 Afrique Occidentale : République de Haute-Volta ;
rapport ORSTOM et CIEH 23 p., multigr.
5. COLLINET (J.) - Compte rendu d'une mission en Haute-Volta
ASSELINE (J.) (3 mars - 3 juin 1975). ORSTOM, Centres de
LAFFORGUE (A.) 1975 Ouagadougou et d'Adiopodoumé, 1975.
6. COLOMBANI (J.) - Mesure de la perméabilité des sols en place :
LAMAGAT (J.P.), un nouvel appareil pour la méthode Müntz. Une extension
THIEBAUX (J.) 1972 de la méthode Porchet aux sols hétérogènes.
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol. Vol. IX, n°3, 1972.
7. DANGLER (E.W.), - Erodibility of selected Hawaii Soils by rainfall
EL-SWAIFY (S.A.), simulation.
AHUJA (L.R.), A.R.S. - U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE.
BARNETT (A.P.) 1976 ARS.W - 35, 1976.
8. GALABERT (J.) - Indice d'érosion de la pluie en Haute-Volta,
MILLOGO (E.) 1973 Rapport CTFT Ouagadougou, 34 p., multigr.
9. HILLEL (D.) 1974 - L'eau et le sol. Principes et processus physiques.
Vander ed. 1974.
10. KALOGA (B.) 1969 - Etude pédologique de la Haute-Volta, région Centre-
Sud, rapport ORSTOM multigr., 247 p.
11. LAFFORGUE (A.) - Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de
NAAH (E.) 1976 ruissellement sous pluies simulées.
Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XIII, n°3, 1976.

12. LAFFORGUE (A.) 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. ORSTOM, sér. Hydrol. Vol. XIV, n°4, 1977.
13. LAFFORGUE (A.) 1978 - Détermination des variations de la capacité d'absorption d'un sol en place sous averses simulées. Hydrological-Sciences-Bulletin, 23,3,9/1978, pp 355, 371.
14. MOREL-SEYTOUX (H.J.) 1975 - Pour une théorie modifiée de l'infiltration. 5ème partie : le cas de la pluie. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XII, n°4, 1975.
15. NASSIF (S.H.), WILSON (E.M.) 1975 - The influence of slope and rain intensity on runoff and infiltration. Bulletin des Sciences Hydrologiques XX, 4.12/1975.
16. POUYAUD (B.) 1975 - La mesure de l'humidité du sol par chocs thermiques. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XII, n°4, 1975
17. ROOSE (E.J.) 1971 - Projet de lutte contre l'érosion hydrique sur le plateau MOSSI (Haute-Volta) - Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 22 p., multigr.
18. ROOSE (E.J.) 1974 - Contribution à l'étude de l'influence de la sécheresse sur l'évolution actuelle de certains sols ferrugineux tropicaux en zones sahéliennes. ORSTOM, Abidjan, 18 p., multigr.
19. ROOSE (E.J.), ARRIVETS (J.), POULAIN (J.F.) 1974 - Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux tropicaux de la région Centre de Haute-Volta - Bilan de trois années d'observations sur la station de Saria, ORSTOM, Abidjan, 73 p. multigr.
20. ROOSE (E.J.), ASSELINE (J.) 1978 - Mesure des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé. Les charges solides et solubles des eaux de ruissellement sur sol nu et diverses cultures d'ananas. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVI, n° 1, 1978 : 43-72.
21. SWANSON (N.P.) 1965 - Rotating boom rainfall simulator, Trans. Amer. Soc. Agr. Eng. 8, 71-72, 1965.
22. VALENTIN (C.) 1978 - Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire - Recherches méthodologiques. Résultats et interprétations agronomiques. ORSTOM Abidjan, 173 p., multigr.

23. WISCHMEIER (W.H.),
SMITH (D.D.) 1958 - Rainfall energy and its relationship to soil loss.
Trans. Amer. Geophys. Union n° 39, p. 285-291.
24. WISCHMEIER (W.H.),
SMITH (D.D.) 1960 - An universal soil loss estimating equation
to guide conservation farm planning. 7th Intern.
Congr. Soil Science, Madison Wisconsin 1, pp. 418-
425.

O.R.S.T.O.M

Direction Générale

24 rue Bayard PARIS (75008)

Service Central de Documentation

70-74 Route d'Aulnay BONDY (93140)

Centre O.R.S.T.O.M d'Adiopodoumé

B.P. V 51 ABIDJAN (CÔTE D'IVOIRE)