

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIOPODOUMÉ

CENTRE DE OUAGADOUGOU

Laboratoire de Pédologie

Laboratoire d'Hydrologie

COMPTE RENDU D'UNE MISSION

EN HAUTE VOLTA (3 Mars - 3 Juin 1975)

Juin 1975

CENTRE d'ADIPODOUME

CENTRE de OUAGADOUGOU

Laboratoire de Pédologie

Laboratoire d'Hydrologie

COMPTE RENDU D'UNE MISSION EN HAUTE-VOLTA

(3 mars - 3 juin 1975)

Utilisation d'un simulateur de pluies sur quelques sols représentatifs de la zone soudano-sahélienne:- mise en évidence de leur susceptibilité à l'érosion, de leur comportement hydrodynamique - essais de quelques techniques culturales limitant leur érodibilité et favorisant la mise en réserve de l'eau.

S O M M A I R E

	pages
<u>1 - OBJET ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE.</u>	1
<u>2 - METHODOLOGIE.</u>	2
2.1. Le dispositif expérimental	2
2.2. Le milieu expérimental	3
2.2.1. Région de Kongoussi - Lac de Bam	3
2.2.2. Région de Ouagadougou - Lac de Loubila	9
2.3. Les protocoles expérimentaux	10
2.3.1. Mesures et prélèvements effectués au niveau des dispositifs de récupération des eaux ruisselées.	11
2.3.1.1. Ruissellement et infiltration	11
2.3.1.2. Erosion	11
2.3.2. Protocoles d'utilisations du simulateur	12
2.3.2.1. Protocole théorique long	12
2.3.2.2. Protocole théorique court	12
2.3.2.3. Renseignements d'ordre pratique	15
2.3.3. Caractérisation des sols et mesures annexes	15
<u>3 - DEROULEMENT DE LA MISSION.</u>	17
3.1. Effectif des participants	17
3.2. Calendrier des activités	17
<u>4 - DONNEES COLLECTEES ET RESULTATS ESCOMPTEES.</u>	19
4.1. Liste inventaire des données et échantillons recueillis	19
4.2. Propositions sur la présentation des résultats	20
4.2.1. Présentation des données de base relatives au ruissellement et à l'infiltration.	20
4.2.2. Présentation des données de base relatives à l'érosion.	22
<u>5 - CONCLUSION : LES PREMIERES OBSERVATIONS.</u>	23

1 - OBJET ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE.

Dans le cadre de l'opération "Aide au Sahel", les travaux que nous avons menés visaient à quantifier la susceptibilité des sols à l'érosion et à dégager les paramètres permettant de caractériser leur comportement hydrodynamique notamment en ce qui concerne la mise en réserve de l'eau.

Des études sur parcelles expérimentales recevant des pluies naturelles ont déjà permis de mettre en évidence l'importance du phénomène d'érosion et de ruissellement de quelques catégories de sol en zone soudano-sahélienne et parfois d'en dégager les causes : (ROOSE - BIROT 1970, ROOSE - ARRIVETS - POULAIN 1974) :

- dénudation quasi générale des sols cultivés en début de saison des pluies,
- constitution de pellicules de battance plus ou moins étendues et épaisses s'opposant à l'infiltration.

Cependant ces expérimentations ont un caractère statique qui rend délicate toute généralisation dans l'espace des résultats, enfin le grand nombre des variables caractérisant les précipitations naturelles complique beaucoup l'interprétation des données recueillies au niveau des parcelles.

La mobilité du simulateur de pluies et sa conception nous ont par contre permis d'étudier érodibilité, ruissellement, infiltration pour différentes situations expérimentales qu'il nous a été possible de modifier à loisir :

- en ce qui concerne le milieu expérimental,
 - différentes catégories de sols, donc bien souvent de pente,
 - différents couverts végétaux,
 - différentes pratiques culturales limitant l'érodibilité et (ou) favorisant la mise en réserve de l'eau.
- en ce qui concerne les protocoles expérimentaux, les normes de fonctionnement du simulateur permirent de faire varier :
 - les intensités des précipitations simulées,
 - la durée des averses,
 - les intervalles de temps entre deux averses consécutives.

2 - METHODOLOGIE.

2.1. Le dispositif expérimental (cf. photographies n° 1-2)

Pour une meilleure compréhension des renseignements développés dans les paragraphes suivants, il nous semble utile de rappeler succinctement les caractéristiques techniques du simulateur de pluie et de ses installations annexes.

Il comporte un châssis de remorque sur lequel une colonne verticale tournant à la vitesse de 4 tours/minute, distribue de l'eau sous une pression réglable à 10 bras de près de 8 m de longueur. Ces bras sont percés de 30 ouvertures où sont ajustés des ensembles vannes - gicleurs spécialement usinés pour pouvoir obtenir au sol des diamètres de gouttes comparables, pour certaines gammes de pression, à ceux de gouttes de pluies naturelles.

L'eau est envoyée sous pression dans l'appareil à l'aide d'une motopompe puisant dans une réserve de 30 m³ ; la pression qui est un élément important intervenant dans la modification des intensités, peut déjà être fixée approximativement en agissant sur le nombre de tours/moteur de la motopompe ; ce réglage est ensuite fait beaucoup plus finement à l'aide d'une vanne régulatrice contrôlant le débit sur une portion du conduit horizontal.

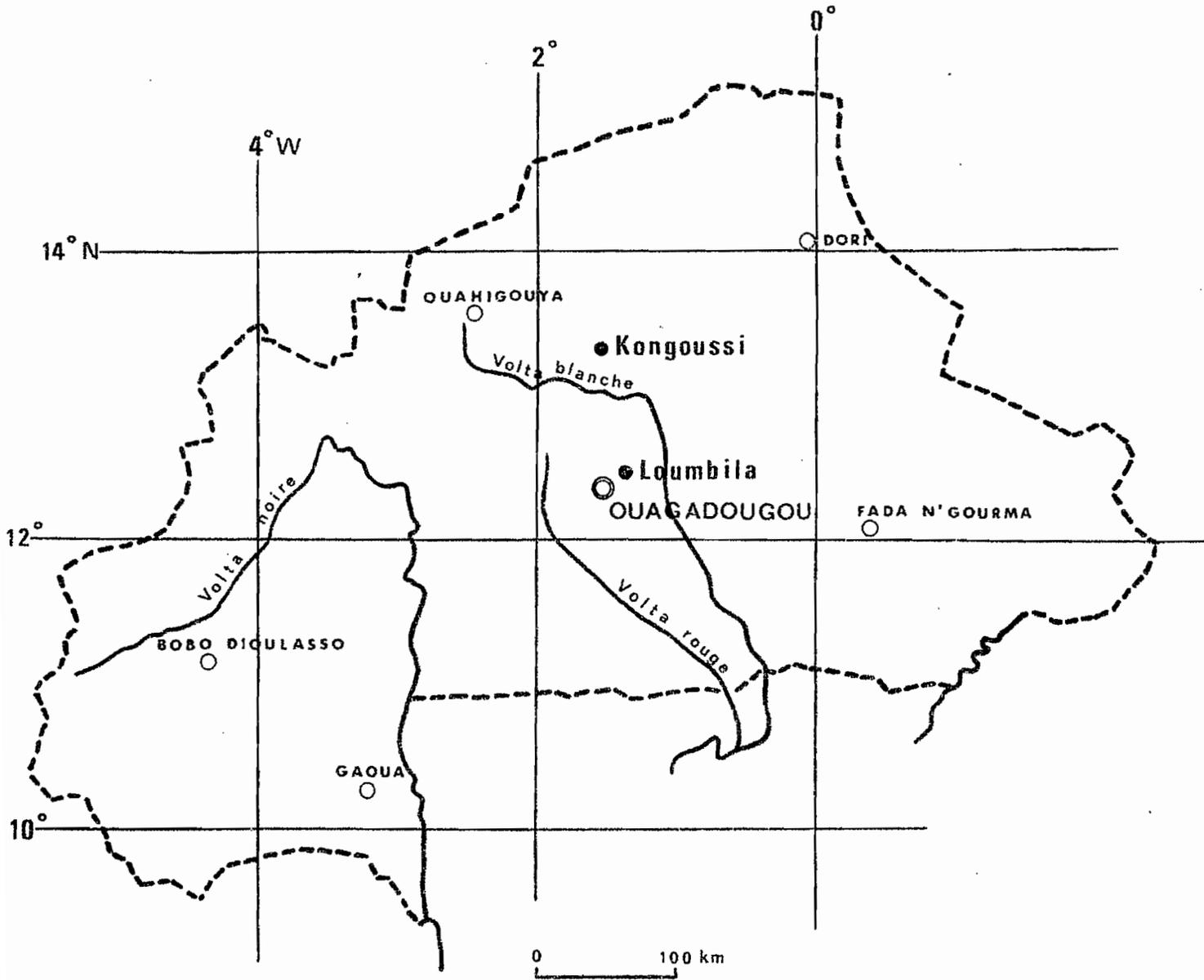
Actuellement l'appareil réalise des pluies homogènes de 30, 60, 90, 120 mm/h sur un cercle de quelque 16 m de diamètre. *

L'appareil arrose simultanément deux parcelles de 50 m² (5 x 10) en aval desquelles est disposé un canal de ruissellement ; les eaux plus ou moins chargées se déversent dans une cuve de 200 l, ne pouvant donc pas stocker la totalité des eaux ruisselées, même pour des coefficients de ruissellement relativement faibles, c'est la raison pour laquelle cette cuve est vidée de façon intermittente par une électro-pompe dont le déclenchement est commandé par un flotteur-interrupteur ; les vidanges et remplissages successifs sont enregistrés automatiquement sur la bande d'un limnigraphe. En tenant compte des dimensions de la parcelle des caractéristiques de la cuve et du limnigraphe il est possible de suivre les débits, variations de débit et fins du ruissellement.

L'ensemble du dispositif comporte 3 moteurs électriques, son autonomie sur le terrain a été prévue par l'adjonction d'un groupe électrogène de 5 KVA, d'une deuxième grosse motopompe et d'un camion citerne de 8 m³ de capacité.

* Deux pluviomètres linéaires implantés dans la zone irriguée permettent de contrôler à la fin de chaque averse les intensités programmées.

HAUTE - VOLTA



○ Localités

● Régions où se déroulèrent les essais "Simulateur"

Carte de Localisation

fig. 1

2.2. Le milieu expérimental (cf. figure n° 1)

Une première reconnaissance des sites expérimentaux possibles avait été effectuée en avril 1974 par E. ROOSE et J. ASSELINE, elle avait permis de sélectionner 3 ou 4 zones intéressantes parce que :

- représentatives sur les plans pédologiques et agricoles de la zone soudano-sahélienne et subsahélienne,
- d'un accès faible et bien pourvues en réserves d'eau.

La première zone d'étude fut la région de Kongoussi (115 Km au nord de Ouagadougou, 13°20' N - 1°32' W). Nous avons ensuite l'intention de monter plus au nord pour pouvoir y effectuer nos essais dans une zone climatique, sur des sols et sous une végétation plus conformes à l'esprit de cette opération ; ceci nous fut fortement déconseillé étant donné la situation du moment à la frontière malienne.

La deuxième zone d'étude nous permettant de compléter les observations obtenues dans la région de Kongoussi, fut la région du lac de Loumbila (15 Km au NE de Ouagadougou, 12°30' N - 1°25' W).

2.2.1. Région de Kongoussi - lac de Bam (cf. fig. 2)

Les études pédologiques antérieures (BOULET 1968) ont mis en évidence une grande diversité des sols dans cette région ce qui s'est révélé exact et fort intéressant pour les essais que nous projetions d'y faire.

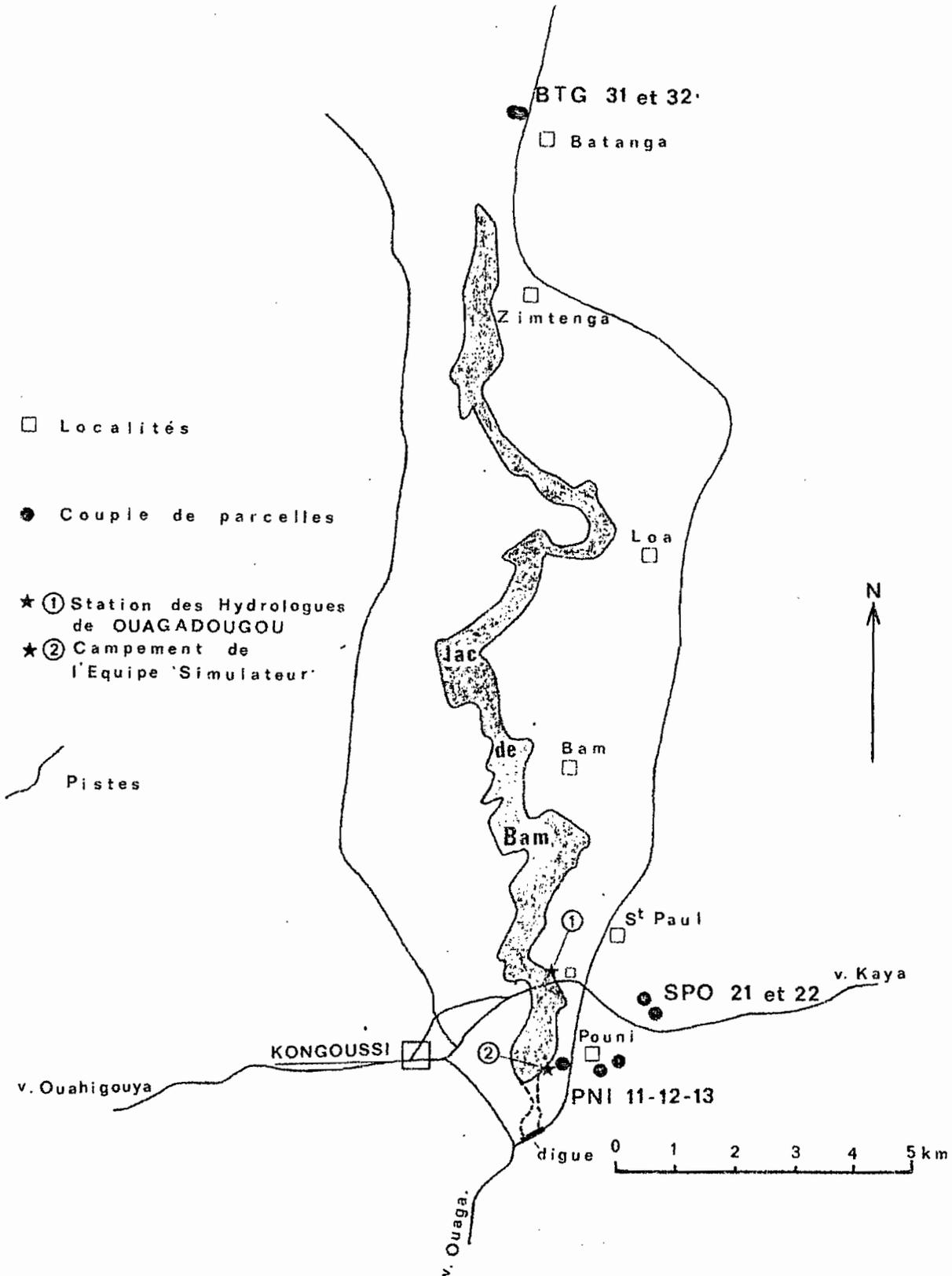
- Le milieu naturel :

Cette région appartient à la zone soudano-sahélienne (pluviosité oscillant entre 400 et 1200 mm/an, regroupée en une seule saison des pluies température moyenne annuelle élevée et forte **siccité** de l'air en saison sèche). La station du lac de Bam reçoit annuellement 665 mm de pluie, avec des maximums centrés sur les mois de juillet ou août selon les années, 7 mois sont écologiquement secs ($H < 30$ mm), l'évaporation y approche annuellement les 3000 mm avec un maximum en avril et mai (350 à 400 mm) et un minimum en août-septembre (150-200 mm). En juin la température moyenne dépasse 30°C, les minimums moyens mensuels s'observent en janvier et août (25°C).

Les formations birrimiennes y affleurent largement, il s'agit de roches métamorphiques : schistes pelitiques et quartzites recoupées par quelques formations cristallines post-tectoniques de faible extension, nous pensons par exemple aux quelques collines de syénites dominant le lac de Bam.

Le paysage se présente comme une surface faiblement ondulée de quelque 300 m d'altitude d'où émergent des buttes témoins tabulaires cuirassées et des collines rocheuses délimitées par de longs versants rectilignes à concaves ; du haut des buttes témoins (320 à 350 m) on découvre à environ 8 km au sud du lac l'importante barrière des plateaux à cuirasse bauxitique (500-510 m) qui ferment l'horizon.

R E G I O N de K O N G O U S S I



Localisation des Sites expérimentaux

fig. 2

La formation végétale naturelle est une savane arborée dont la composition traduit une forte influence de l'homme qui y a favorisé le développement d'espèces utiles ; tous les essais s'effectuèrent assez près du lac sur des jachères de culture (mil, sorgho, coton).

- Les sols (cf. figures n° 3 - 4 - 5)

En se référant aux travaux de BOULET (1968), il fut aisé de retenir 3 sites expérimentaux sur matériaux différents. Les couples de parcelles furent implantés autant que faire se pouvait selon la ligne de plus grande pente c'est à dire selon une orientation permettant de prévoir les plus grandes différenciations pédogénétiques (toposéquences).

a) La première toposéquence (POUNI), longue d'environ 1000 m, s'étend depuis un relief résiduel tabulaire cuirassé sur séricitoschistes surmonté lui même par une colline à affleurements rocheux épars de syénite; les versants d'abord assez pentus et concaves deviennent rectilignes à faible déclivité jusqu'aux rives du lac. De l'amont à l'aval on observe la succession suivante :

. sols argilo-sableux très gravillonnaire limités à faible profondeur par des horizons altéritiques plus ou moins carapacés.

. vers l'aval le niveau gravillonnaire s'amincit tandis que décroît le taux d'éléments grossiers, les sols s'approfondissent des recouvrements de matériau meuble d'origine colluviale et éolienne apparaissent dès la mi-pente.

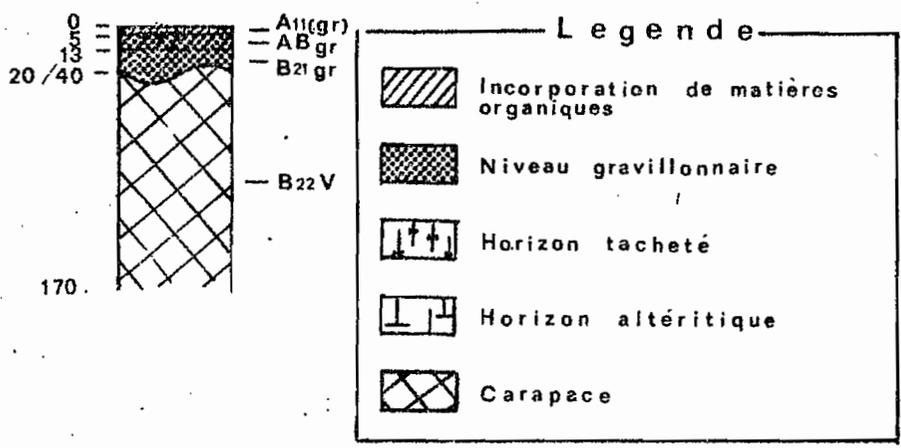
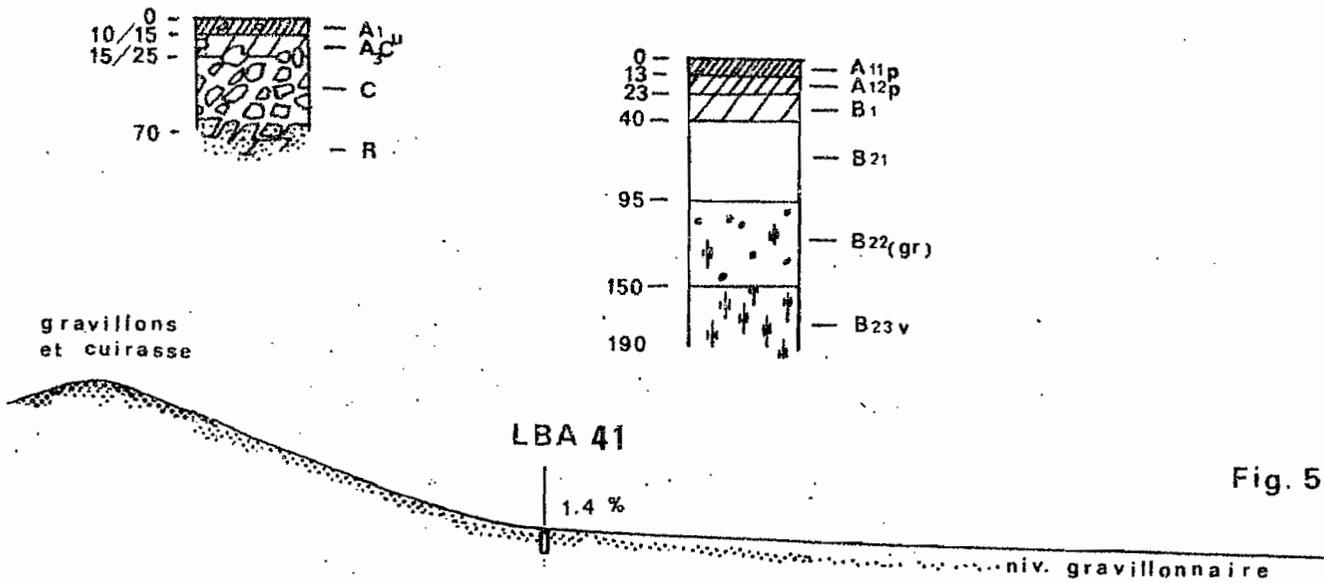
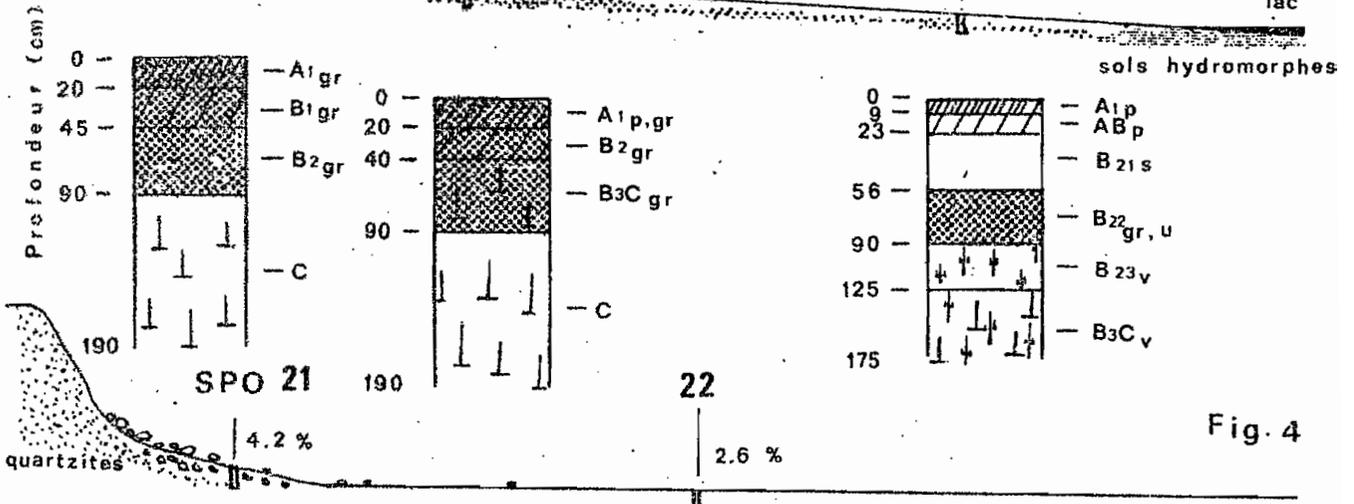
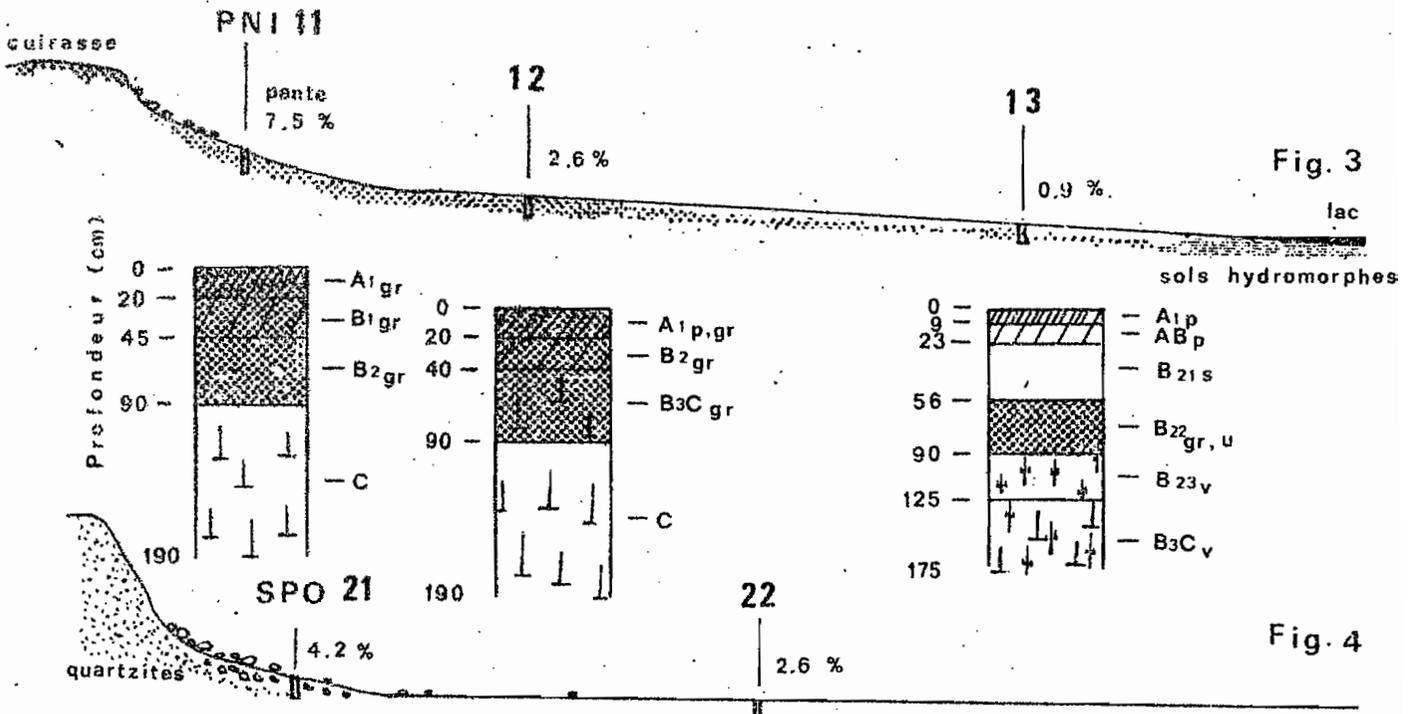
Le premier couple de parcelle (PNI 11) fut installé sur un petit glacis de 7,5 % de pente, situé en piemont du plateau cuirassé. Brièvement résumé et sans considérer sa systématique le sol s'y présente de la façon suivante :

- en surface : affleurement continu de gravillons ferrugineux (3/4) et de fragments rocheux ferruginisés (1/4), un buisson d'épineux par 10 m², aucune strate herbacée, aucun microrelief mais quelques rigoles d'érosion.
- 0/90 cm : niveau gravillonnaire, 50 % de graviers (gravillons ferrugineux) rares cailloux et blocs de cuirasse, matériau d'emballage sable-argileux sur 20 cm passant à argilo sableux (40 % d'argile). A₁ gr 0/20, B₁ gr 20/45, B₂ gr 45/90.
- 90/190 cm? : horizon altéritique de schistes alternativement rouge vif et jaune pâle, alteration de type ferrallitique sans conservation de la structure géologique - C

Le second couple de parcelles (PNI 12) fut implanté au 1/4 supérieur du versant dont la pente n'atteint déjà plus que 2,5 %.

- en surface : affleurement continu de gravillons ferrugineux, 30 % de la surface du sol couverte par des chaumes de sorgho, microreliefs généralisés mais de faible amplitude (5 cm) correspondant à d'anciennes buttes effondrées, aucune strate végétale vivante en place.

TOPOSEQUENCES : PNI - SPO - LBA



- 0/90 cm : niveau gravillonnaire se subdivisant en horizons suivants :
 - . A₁ p, gr : 0/20 cm - 70 % de gravillons de quelques 5-10 mm de diamètre, matériau d'emballage sablo-argileux (25 % a.), meuble, très poreux tubulaire.
 - . B₂ gr : 20/40 cm - 65 % de gravillons mal classés (5-30 mm), matériau meuble argileux (45 % a.) porosité moyenne.
 - . B₃C gr: 40/90 - 60 % d'éléments grossiers de plus en plus représentés par des fragments rocheux et des pseudoconcrétions, 50 % d'argile, très poreux tubulaire moyen et grossier, revêtements argileux parfois épais sur les porosités.
- 90/190 cm? : horizon altéritique de même nature et aspect que celui de PNI 11.

Le troisième et dernier couple de parcelles de cette séquence (PNI 13) se situait à 650 m de PNI 11 soit vers le 1/3 inférieur, on y note un recouvrement de matériau meuble qui ira en s'épaississant vers les rives du lac, la pente des parcelles était de 0,9 %.

- en surface : sol nu sauf 5 % de recouvrement par des chaumes de mil, une touffe de graminée sèche tous les 3 m, 2 à 30 % d'éléments grossiers épais, pellicule de battance 2-5 mm généralisée.
- 0/56 cm : niveau de matériau meuble quasiment dépourvu d'éléments grossiers, subdivisé en :
 - . A₁ p: 0/9 cm - sablo-argileux, structure nette polyédrique grossière, revêtements sableux dans les vides interagrégats, forte porosité d'agrégat ainsi que tubulaire moyenne et vésiculaire grossière.
 - . AB_p: 9/23 cm - brun rougeâtre, argilo-sableux à argileux (45 % a.) structure aussi nette mais plus fine, toujours très poreux, faces des agrégats luisantes, revêtements organo-argileux dans les plus grosses porosités, galeries de termites.
 - . B₂₁ s : 23/56 cm - rouge, 5 à 10 % de pseudoconcrétions, argileux (50 % a.), structure nette polyédrique moyenne, luisances, poreux fin et moyen tubulaire, revêtements argileux sur les tubes.
- 56/90 cm : B₂₂ gr, u - 35 % de pseudoconcrétions (5-10 mm) et concrétions noirâtres (5 mm), argileux (50 % a.), structure peu nette polyédrique fine et moyenne, peu poreux fin à très fin tubulaire.
- 90/125 cm : B₂₃ v - horizon tacheté rouge, jaune pâle ponctué noir, 10 % de pseudoconcrétions, argileux, structure nette polyédrique fine, poreux fin et très fin tubulaire.
- 125/175 cm?: B₃ C v - identique mais 20 % d'éléments grossiers dont 1/2 fragments de schiste friables, peu ferruginisés.

A quelques dizaines de mètres des rives actuelles du lac on passe à des sols hydromorphes minéraux à pseudogley ; le niveau du lac est resté exceptionnellement haut cette année recouvrant une bonne partie des périmètres maraîchers des années précédentes.

Cette séquence est représentative des sols différenciés sur schistes pélitiques birrimiens. BOULET suppose que sur cette "surface fonctionnelle" purent se développer jadis des sols considérablement plus épais pendant des phases climatiques humides, compatibles avec une altération ferrallitique du matériau original. Ces formations furent ensuite plus ou moins érodées, parfois jusqu'aux horizons altéritiques ; des niveaux d'éléments grossiers provenant soit du démantèlement des cuirassements amont soit du remaniement d'altérites indurées, vinrent par la suite les surmonter. Les matériaux de recouvrement meuble des bas de pente pourraient avoir une origine colluviale éolienne ancienne ou encore alluviale dans certains cas.

b) La deuxième toposéquence retenue (SAINT PAUL) s'étend sur des matériaux plus sableux provenant de l'érosion d'un chaînon de quartzites feldspathiques. Les sols y sont totalement différents.

Le chaînon quartzitique limitant cette toposéquence en amont s'élève brutalement avec rupture de pente nette au-dessus de la surface actuelle très peu déclive (2 % de pente).

Les sols situés en piemont sont sableux très peu épais et caillouteux, vers l'aval le taux de fragments rocheux décroît rapidement tandis que les sols meubles s'épaississent considérablement mais leur surface est abondamment striée de rigoles et ravines d'érosion plus ou moins comblées de dépôts sableux mal classés. Sur un tel matériau les pellicules de battance se réforment très vite après la mise en culture, celles-ci sont aussi particulièrement nettes sur les quelques 10 m de piemont caillouteux qui n'est jamais travaillé.

Le premier couple de parcelles (SPO 21) fut installé à l'amont en piemont jamais cultivé, sur des pentes atteignant 4,5 %. Le sol s'y présente de la façon suivante :

- en surface : aucune strate herbacée, 1 buisson d'épineux pour 5 m², sol dénudé couvert à raison de 10 % par un cailloutis de quartzites altérés, pellicule de battance continue consolidée par des lichens, nombreuses rigoles d'érosion sans dépôts sableux.
- 0/10-15 cm : A₁ u - 3 à 10 mm de pellicule sableuse fine, brun, 15 % de graviers, cailloux sans blocs de quartzite, sableux grossier (5 % a.), massif très poreux intersticiel sous la pellicule.
- 15/25 cm : A₃ C - 50 % d'éléments grossiers (fragments rocheux), sableux grossier, massif, poreux intersticiel.
- 25/70 cm : C - blocs et cailloux alignés, joints sableux à sablo-argileux (15 % a.)
- 70 cm : R - de quartzite non ou peu altéré en place.

Le deuxième couple de parcelle (SPO 22) se situait à mi-versant, pente 2,5 %, le sol y est profond et presque entièrement dépourvu d'éléments grossiers.

- en surface : chaumes de sorgho sur pied coupés à 25-30 cm tous les 50-70 cm en sommet de buttes actuellement effondrées formant des microreliefs de 5-10 cm, aucune strate vivante en place, 2 à 3 blocs de quartzite (reliquat de murettes?), pellicule de battance continue 3 à 5 mm;
- 0/40 cm : incorporation d'un peu de composés organiques dans un matériau sableux à sablo-argileux, se subdivise en :
 - 0/13 : A₁₁ p - jaune brunâtre, sur 0,5 cm interstratification de sables fins et grossiers, sableux (5 % a.) massif, fragile, très poreux interstitiel sous pellicule, fentes de quelques mm tous les 70 cm (jusqu'à - 100 cm).
 - 13/23 : A₁₂ p - brun, sableux (10 % a.), massif, cohérent, non fragile, très poreux très fin et fin tubulaire.
 - 23/40 cm : B₁ - brun rougeâtre, sablo-argileux (25 % a.) massif, très cohérent, extrêmement poreux tubulaire moyen et fin, poreux tubulaire et vésiculaire grossier.
- 40/95 cm : B₂₁ - rouge jaunâtre argilo-sableux (30 % a.), cohérent, massif débit motteux émoussé, extrêmement poreux tubulaire et vacuolaire grossier à très grossier
- 95/150 cm : B₂₂ (gr) - identique à B₂₁ mais apparition de 15 % de taches rouges plus ou moins indurées (10-15 mm)
- 150/190 cm ? : B₂₃ v - horizon tacheté rouge sur fond brun jaunâtre clair, trainées gris clair, argilo-sableux (35 % a.), poreux tubulaire moyen et fin, rares tubes grossiers à revêtements argileux épais, massif, cohérent.

Le comportement de ce sol a été très instructif parce que les expérimentations qui s'y déroulèrent confirmèrent en tous points ce que l'étude macromorphologique avait permis de prévoir c'est à dire :

- sol extrêmement poreux sur environ 120 cm mais non ou peu perméable en surface
- stabilité structurale des plus médiocres d'où une désagrégation des mottes et une reconstitution rapides de la pellicule de battance après les travaux cultureux.

c) Le troisième site expérimental fut reconnu au nord du lac de Bam (BATANGA) où sur des matériaux très argileux se sont différenciés des sols à caractères vertiques plus ou moins accentués. Deux couples de parcelles y furent montés à quelque 20 m de distance l'un de l'autre ; les sols y sont identiques mais ils subirent deux protocoles expérimentaux différents.

Ces sols sont surtout utilisés pour la culture du cotonnier qui l'emporte largement sur le mil et le sorgho. La surface actuelle est dominée en amont par une colline non cuirassée où affleurent des roches vertes.

Le profil succinctement décrit (BTG 3) caractérise le sol identique pour les deux parcelles :

- en surface : jachère de sorgho (2 ans) envahie par des buissons d'épineux à raison de 1 buisson pour 2 m² strate herbacée de graminées sèches couchées très disséminée occupant 40 % de la surface, réseau de larges fentes (20 à 30 cm) profondes d'environ 120 cm, tous les 3 à 5 m, rares effondrements formant des cuvettes de 15 cm de profondeur et 20-30 cm de diamètre, pas de microrelief gilgai.

La structure permet de distinguer deux niveaux de séries d'horizons :

- 0/15 cm : à structure très nette (sauf 0-2 cm) et vides interagrégats importants, se subdivise en :
 - 0/0,5-2 cm: A_p - structure fondue remaniée en pellicule de battance, passe à une structure lamellaire vers 1 cm avec interstratifications de dépôts à texture hétérogène.
 - 2/13-17 cm : (B)₁ - brun foncé, argileux, structure très nette polyédrique grossière à sous structure moyenne surtout développée en limite des fentes, forte porosité interagrégat.
- 15/160 cm : moins nettement structuré et volume des vides généralement faible.
 - 15/110 cm: (B)₂ - brun foncé, 10 % de fragments rocheux, argileux (50 % a.), structure peu nette tendance prismatique très grossière devient nette près des fentes et cubique, peu poreux tubulaire et vésiculaire fin
 - 110/160 cm: (B)₃ - brun foncé taché olive clair, argileux (55 %), nodules calcaires, structure massive passant à lamellaire oblique discrètement lissées, gauchie, striée vers 150 cm, non poreux, très cohérent.

Ces sols sont situés sur des pentes de 0,5 - 1 %, leur génèse se conçoit par des apports importants en alcalino-terreux et en fer provenant de la roche mère et permettant la néosynthèse d'argiles gonflantes auxquelles se lient très fortement de faibles quantités de composés humiques très polymérisés. Dans l'exemple cité les caractères vertiques restent discrets et nous hésitons à le classer dans les vertisols.

Nous nous sommes ensuite installé dans la région du lac de Loumbila où nous avons mené nos essais sur des matériaux issus de granite.

2.2.2. Région avoisinant le lac de Loumbila.

- Le milieu naturel.

La pluviométrie y atteint 900 mm/an, les maximums des précipitations se situant en août et septembre tandis que 6 mois restent écologiquement secs; les autres données climatiques (température, humidité, évaporation) restent proches de ce qui fut mentionné pour la région de Kongoussi située à quelques 100 km plus au nord.

Le substratum est constitué par des granites birrimiens calco-alcalins alternant avec des granites migmatitiques plus acides (repérés à quelques 10 km au nord du lac).

Le paysage est très largement ondulé avec de très vastes unités de modelé ce qui caractérise le "plateau Mossi"; les interfluves y atteignent en effet 4 à 5 km, leur sommet est plus souvent constitué de croupe gravillonnaire plutôt que de véritables plateaux cuirassés comme ce que nous avons vu dans la région des schistes birrimiens.

Les versants sont rectilignes et très peu pentus (1 à 1,5 %).

La toposéquence où fut installé un couple de parcelle se présente de la façon suivante :

- sommet : sols gravillonnaires sur lambeaux de cuirasse affleurant parfois.
- 1/3 supérieur jusque mi-pente : sol gravillonnaire sur carapace en zone tachetée non ou peu indurée, minces recouvrements sableux et sablo-argileux.
- bas de pente : colmatage généralisé par des colluvions sablo-argileux de plus en plus épais surmontant les horizons tachetés et altérites issus de granite, amincissement ou disparition du niveau gravillonnaire, hydromorphie plus ou moins importante, extension des sols hydromorphes facilement réparable par une petite rupture de pente en bas de versant.

Les cultures traditionnelles (mil, sorgho, arachides) s'effectuent sur les sols gravillonnaires peu épais alors qu'actuellement d'importants aménagements (périmètres irrigables, rizières) se développent sur les colluvions de bas de versant.

Faute de temps nous ne pûmes tester que les réactions des sols peu épais de la mi-pente, (LBA 41) :

- en surface : 5 % de chaumes de petit mil, affleurement de 30 % de gravillons ferrugineux, microondulation de 5 cm d'amplitude correspondant à des buttes et billons effondrés, pellicule de battance sur les sommets de ces micro reliefs, colluvions et dépôts éoliens actuels dans les creux.

Ce profil comporte 3 types de matériaux :

- 0/5 : A₁₁ (gr) - brun, sableux (7 % a.), 10 % de gravillons ferrugineux, massif, très poreux intersticiel sous une pellicule de battance de 0,5 à 1 cm.

- 5/20-40 cm : niveau gravillonnaire dont :
 - 5/13 cm - AB gr - brun, sablo-argileux (20 % a.) structure peu nette grumeleuse moyenne poreux.
 - 13/20-40 cm: B₂₁ gr - jaune rougeâtre, argilo-sableux (30 % a.), 60 % gravillon, poreux, vides interagrégats, galeries de termites.
- 40/170 cm : B₂₂ V - carapace jaune pâle et rouge à induration hétérogène ménageant des zones meubles de quelques dm², poreuse.

Les essais furent donc menés sur des matériaux variés et cependant tous représentatifs d'une grande partie des sols et activités humaines de la zone soudano-sahélienne; les sols de piemont, les plus pentus, généralement inutilisés car trop caillouteux et peu profonds ne furent pas délaissés car ils constituent de vastes impluviums où les coefficients de ruissellement sont parmi les plus importants, il fallait donc également les caractériser si l'on veut essayer d'étendre les résultats d'observations effectuées sur parcelles, à l'échelle du bassin versant.

2.3. Les protocoles expérimentaux.

La phase préliminaire des opérations consistait à localiser, caractériser, piqueter, niveler, installer le couple de parcelle, monter et mettre en place le simulateur et les appareils annexes.

La phase expérimentale comportait deux catégories de manipulations :

- celles qui s'effectuent, lors du fonctionnement du simulateur, au niveau des 2 dispositifs de récupération des eaux de ruissellement,
- celles qu'il s'agit d'effectuer sur le site expérimental, pendant le fonctionnement du simulateur, dans l'aire d'arrosage, où il faut caractériser les variations des différents paramètres physiques du sol, ou encore, d'une façon différée, hors de l'aire arrosée pour pouvoir caractériser le milieu expérimental, effectuer tous prélèvements d'échantillons nécessaires à une meilleure compréhension des phénomènes dynamiques s'opérant au niveau des parcelles.

Toutes ces opérations et manipulations furent consignées sur une liste de contrôle ce qui permit d'acquérir rapidement l'automatisme souhaitable. Tous les résultats et données brutes figurent sur des fiches de terrain regroupées en dossiers.

2.3.1. Mesures et prélèvements effectués au niveau des dispositifs de récupération des eaux ruisselées.

2.3.1.1. Ruissellement et infiltration.

Pour une situation donnée (type de sol, pente, couvert végétal, traitement), les parcelles sont arrosées de pluies d'intensité constante pendant des laps de temps bien déterminés ; les périodes d'arrêt entre chaque pluie sont également bien fixées. Les débits de ruissellement sont enregistrés sur les limnigrammes : données brutes qu'il s'agit ensuite de dépouiller sous la forme d'hydrogrammes (cf. paragraphe 4.2.1.).

2.3.1.2. Erosion.

Le protocole d'utilisation qui fut testé (cf. 2.3.2.) prévoit deux sortes d'averses, les unes permettant d'obtenir des données exploitables pour les études du ruissellement et de l'infiltration (averse HYD) ; les autres plus adaptées à l'obtention de données concernant l'érosion du sol (averse ERO).

Sur des parcelles expérimentales recevant des précipitations naturelles, les dispositifs de récupération des eaux et de leurs charges permettent, pour chaque pluie utile d'obtenir des valeurs globales de l'érosion (suspension + terres de fond). Dans le cas des parcelles - simulateur, il est également possible de récupérer un volume d'échantillons suffisant pour pouvoir effectuer des mesures sur la sélectivité de l'érosion, sur l'exportation des éléments fertilisants etc... mais l'intérêt du dispositif utilisé réside surtout dans la possibilité de suivre les variations de cette érosion tout au long de la pluie. C'est la raison pour laquelle les prélèvements d'échantillons se firent sur des aliquotes d'eau s'écoulant de la goulotte du canal de ruissellement à intervalle de temps répétés et repérés sur le limnigramme ; ce dernier fournissant pour chacun de ces prélèvements le débit du ruissellement, il est possible de suivre l'évolution de cette érosion au cours du temps pour un événement donné et d'obtenir également le coefficient global de cette érosion pour une averse.

L'érosion considérée au sens large, porte également sur les éléments minéraux et organiques dissous dans les eaux de ruissellement. En tenant bien entendu compte de la qualité des eaux admises à l'appareil, des prélèvements d'échantillons effectués selon le même principe permettent d'évaluer ces pertes en solubles.

Généralement les parcelles du couple se présentaient de la façon suivante :

- parcelle n° 1 : sol tel que nous le trouvions, sans aucune modification en faisant en sorte que sa représentativité spatiale soit maximale
- parcelle n° 2 : elle fut constamment labourée, débarrassée de toute végétation selon les normes de WISCHMEIER (développées dans une note ROOSE 1968) ; il s'agit donc, pour toutes catégories de sol d'un traitement de référence.

En fin des essais sur un site nous avons également testé sous des pluies d'intensités croissantes (ERO 7 cf: 232), le rôle de différents traitements culturaux tant du point de vue lutte antiérosive que pour essayer de favoriser l'infiltration au maximum : il s'agissait généralement de parcelles aménagées en buttes cloisonnées (n°1) et relabourée puis recouverte d'un mulch de chaumes (n°2).

2.3.2. Protocole d'utilisation du simulateur.

Ce protocole fut élaboré à l'issue d'un échange de courrier entre P. DUBREUIL et l'Equipe-simulateur.

Comme nous l'avons déjà signalé, il s'agit d'un compromis entre les opérations visant à préciser les différents paramètres du ruissellement et d'infiltration (HYD) et celles plus aptes à mettre en évidence l'érosion (ERO).

Quelques modifications furent apportées à l'issue des premiers essais, c'est ainsi que, par exemple, nous avons retenu deux protocoles : 1 long (7 jours) et 1 court (3 jours) en fonction de l'abondance des renseignements que nous désirions obtenir.

Le protocole court fut surtout utilisé sur les glacis de piemont. Les autres modifications portèrent sur les intensités programmées, les durées des pluies, les temps d'arrêt entre chaque pluie.

Enfin les conditions météorologiques défavorables (vent) nous ont parfois imposé quelques changements de programme.

2.3.2.1. Protocole théorique long (7 jours)

- Jour J matin : temps d'arrêt (t_a) après la pluie précédente correspondant, dans le cas présent, à la durée de la saison sèche jusqu'au jour J.

- averse ERO 1 : 60' à 60 mm/h

$$t_a = 24^H$$

- Jour J+1 matin :

- ERO 2 : 30' à 60 mm/h

$$t_a = 14'$$

- ERO 3 : 30' à 60 mm/h

$$t_a = 8 \text{ à } 10^H$$

- Jour J+1 soir

- ERO 4 : 30' à 60 mm/h

ta = 15'

- ERO 5 : 30' à 60 mm/h

ta = 12 à 14^H

- Jour J+2 matin

- averse HYD 1_a : 10' (après début ruissellement) à 60 mm/h

ta = 20'

- averse HYD 1_b : 10' à 60 mm/h et ainsi de suite jusqu'à l'obtention d'un pallier de l'intensité de ruissellement (pente constante de la courbe volume cumulé ruisselé = f(r) sur le limnigramme)

NB1: la réserve de 30 m³ nous permet de "faire" 12 pluies consécutives de 60 mm/h

ta = 3^H

- Jour J+2 après midi

- HYD 2 a : 10' (après début du ruissellement) à 60 mm/h

ta = 40'

- HYD 2 b : 10' à 60 mm/h et ainsi de suite selon les mêmes critères que précédemment

ta = 48^H

- Jour J+5 matin

- HYD 3 a : 20' à 60 mm/h

ta = 30'

- HYD 3 b : 20' à 60 mm/h et ainsi de suite....

ta = 3^H

- Jour J+5 après midi

- ERO 6 : pluies d'intensités croissantes

- ERO 6 a : 40' à 30 mm/h

ta = 40'

- ERO 6 b : 20' à 60 mm/h
ta = 40'
- ERO 6 c : 13' à 90 mm/h
ta = 40'
- ERO d : 10' à 120 mm/h

NB2 : durée des pluies calculées pour obtenir une hauteur constante de 20 mm.

ta = 12 H

- Jour J+6 matin

- ERO 7 : pluies de 60 ou 90 ou 120 mm/h en fonction des résultats obtenus précédemment pendant une durée permettant d'obtenir, au moins sur l'une des deux parcelles, un pallier de l'intensité de ruissellement.

NB 3 : parcelle 1 aménagée en buttes cloisonnées
parcelle 2 nouveau labour + mulch

2.3.2.2. Protocole théorique court (3 jours)

- Jour J matin

- ERO 1 : 60' à 60 mm/h
ta = 24 H

- Jour J+1 matin

- HYD 1 a : 10' (après début du ruissellement)
à 60 mm/h
ta = 20'
- HYD 1 b : 10' à 60 mm/h et ainsi de suite
ta = 3 H

- Jour J+1 après midi

- HYD 2 a : 10' à 60 mm/h
ta = 40'
- HYD 2 b : 10' à 60 mm/h et ainsi de suite...
ta = 12 H

- Jour J+2 matin

- ERO 2 : même averse que ERO 6 du protocole long.

2.3.2.3. Renseignements d'ordre pratique.

A l'issue d'essais effectués selon un protocole long, une parcelle reçoit entre 500 et 700 mm d'eau ; pour un protocole court ces hauteurs sont comprises entre 200 et 250 mm.

Nous pouvons effectuer les démontages, transfert, remontage de l'ensemble du dispositif d'un site à un autre en 1 jour 1/2, à condition d'avoir pu réaliser une partie des opérations préliminaires (cf. 2.3.) pendant les deux journées d'arrêt entre HYD 2 et HYD 3. 1/2 journée pourrait être gagnée si nous disposions d'un deuxième jeu de cuves + limnigraphes.

Le changement de réglage du simulateur pour passer d'une intensité à une autre (ERO 7 par exemple) nécessite entre 10' et 15'.

La montée en pression du simulateur pour obtenir les intensités pré-réglées s'effectue en 30" pour la première pluie et quelque 10" pour les pluies suivantes.

L'égouttage de fin de pluie dure environ 1' mais ne représente qu'une hauteur d'eau infime en regard de celles des pluies simulées.

2.3.3. Caractérisation des sols, mesures annexes à l'intérieur et à l'extérieur de l'aire d'arrosage.

Toutes les données obtenues soit par dépouillement des limnigrammes soit par l'analyse des échantillons d'eau prélevés doivent pouvoir être confrontées avec celles qui sont caractéristiques du sol en place, constituant le milieu expérimental. C'est la raison pour laquelle nous avons également effectué les déterminations suivantes :

a) Caractérisations physiques et chimiques des sols

Celles-ci comprennent :

- une étude macromorphologique des différents profils des sols représentatifs des parcelles expérimentales (cf. descriptions succinctes de 2.2.1. et 2.2.2.) ceci afin d'appréhender : succession des horizons, discontinuités texturales, perméabilité, porosité de pouvoir prévoir ou expliquer le comportement des différentes parcelles ; ceci également afin de permettre tous prélèvements d'échantillons de terre autorisant les déterminations suivantes :

- densité apparente : expression volumique des résultats,
- densité réelle : porosité totale,
- quantités d'eau retenues à différentes gammes du potentiel capillaire,
- composition granulométrique et chimique des sols : comparaison avec les éléments minéraux et organiques exportés en solution, pseudosolution, suspension,
- prélèvements micromorphologiques : organisation structurale intime des premiers décimètres de sol avant et après les averses.

b) Test de perméabilité de terrain

L'infiltromètre MUNTZ fut largement utilisé pour pouvoir comparer les valeurs obtenues dans le cas de sol couvert d'une lame d'eau à charge constante, non ruisselante avec celles des infiltrations pour une charge minime d'eau de précipitation ruisselante.

c) Profils hydriques (cf. photo n° 3)

La rétention actuelle ou instantanée des différents horizons put être déterminée avant et après chaque averse afin de pouvoir dégager toutes relations entre les états d'humectation du sol et toutes données obtenues par dépouillement des limniogrammes.

Ces mesures très importantes ont pu être faites en continue pendant et après les expérimentations (ressuyage du sol) grâce à la collaboration de la section d'Hydrologie du Centre de Ouagadougou.

Le dispositif de mesure conçu et réalisé par B. POUYAUD⁽¹⁾ permet de suivre les variations de la capacité calorifique d'un sol en fonction de son humidité. La source de chaleur est réalisée par une résistance filiforme de très faible inertie thermique, celle-ci émet pendant un court instant un flux de chaleur, la plus ou moins grande élévation de température du sol en résultant est décelée par un thermocouple situé à une distance faible et constante de la sonde chauffante.

Il fut utilisé 2 faisceaux de 8 couples de sondes (résistance + thermocouple) enfoncées à différentes profondeurs dans les sols, généralement jusqu'à - 150 cm. L'installation de ces sondes se fit dans des fosses ensuite rebouchées et situées dans l'aire d'arrosage ; les sondes furent toujours enfoncées dans le matériau en place.

L'alimentation électrique de son appareillage fut fournie par notre groupe électrogène. Une boîte de commande permet d'effectuer les mesures manuellement ou automatiquement, avec possibilité d'effectuer des répétitions sur chaque niveau. Le courant débité par les thermocouples est amplifié, les D.D.P. sont enregistrées graphiquement (millivoltmètre enregistreur).

De nombreux prélèvements de sol sec ou humide furent pratiqués en même temps que les mesures tant pour étalonner les sondes que pour pallier à une éventuelle défaillance de l'électronique, ce qui n'est d'ailleurs jamais arrivé.

En fait deux catégories de mesures furent menées de façon complémentaire :

- avant et après chaque pluie : "chocs thermiques" dont le principe a été résumé précédemment et qui permettrait, après dépouillement des graphiques d'obtenir les humidités volumiques.
- pendant la pluie il fut également possible de suivre sonde par sonde, donc horizon par horizon, la progression du front d'humectation en ne détectant que les variations de température transmises par les seuls thermocouples.

(1) Théories et principes de sa réalisation ont été exposés dans le "Cahier de l'Hydrologie - ORSTOM - vol. VIII, n°1, 1971, p. 65.

3 - DEROULEMENT DE LA MISSION.

3.1. Effectifs des participants.

- Du Centre ORSTOM d'Adiopodoumé :
 - J. ASSELINE (Pédologie) : du 3.3 au 3.6.1975
 - J. COLLINET (Pédologie) : du 3.3 au 3.6.1975
 - A. LAFFORGUE (Hydrologie) : du 17.3 au 4.4 et du 21.4
au 25.4.1975
 - E. ROOSE (Pédologie) : 22 et 23.3 et du 29.3 au 2.4.1975
- Du Centre ORSTOM de Ouagadougou :
 - G. DUBOIS
 - R. DUMAS (Hydrologie) : tous alternativement du
20.3 au 18.5.1975
 - P. LEDUC
 - B. POUYAUD

3.2. Calendrier des activités.

- 3.3.1975 : départ d'Adiopodoumé (2 camions + 1 land rover, la remorque du simulateur avait été expédiée par le rail 3 jours auparavant).
- 6.3 : arrivée à Ouagadougou.
- 6 au 18.3 : mise en entrepôt de douane de la totalité du matériel pour lequel nous avons obtenu l'importation temporaire, visite des douanes du 8 au 10.3 nous obligeant à décharger complètement tous les véhicules, reconnaissance sur le terrain pour localiser approximativement les futurs sites expérimentaux.
- 18.3 : sortie du matériel et des véhicules de l'entrepôt de douane.
- 19.3 : départ sur Kongoussi, installation du campement de toile à proximité du 1er site expérimental.
- 20.3 au 24.3 : caractérisation, piquetage, nivellement des parcelles PNI 13, 12, 11, installation du couple de parcelle PNI 13, montage du simulateur et des dispositifs annexes (motopompes, groupe, réserve 30 m³).
- 25 et 26.3 : vérification du bon fonctionnement du simulateur, installation de deux faisceaux de sondes de chocs thermiques.
- 27.3 au 2.4 matin : expérimentation (protocole long) sur PNI 13, installation du laboratoire de brousse, prétraitement (floculation) des premiers échantillons, début d'installation du site suivant (PNI 12), opérations annexes de caractérisation de sol, prélèvements d'échantillons.

- 2.4 après midi au 4.4 : démontage, transfert, remontage sur le site PNI 12.
- 5.4 à 11.4 m. : expérimentations (protocole long) sur parcelles PNI 12 + activités annexes (cf. précédemment).
- 11.4 a.m. à 12.4 soir : démontage, transfert, remontage sur le site PNI 11.
- 13.4 à 15.4 m. : expérimentation (protocole court) sur parcelles PNI 11. + activités annexes.
- 15.4 a.m. à 17.4 s. : démontage, transfert, remontage des installations sur le nouveau site "Sant Paul" (SPO 21), séquence sur quartzites.
- 18.4 à 20.4 m. : expérimentation (protocole court) sur le site SPO 21

NB 1 le 20.4 matin : visite des douanes.

- 20.4 à 21.4 s. : démontage, transfert, remontage sur le site SPO 22.
- 22.4 à 29.4 matin : expérimentation (protocole long) sur SPO 22

NB 2 le 29.4 : réception des Officiels, Responsables techniques, Enseignants voltaïques et français, présentation commentée du simulateur de pluie (cf. lettre SC. YC/kb 2167 de Y. CHATELIN à Direction Générale du 20.5).

- 30.4 à 4.5 : démontage, transfert, remontage des installations sur le nouveau site de "Batanga" (BTG 31) préalablement arrosé à raison de 450 mm entre le 23.4 et le 2.5.
- 5.5 à 7.5 m. : expérimentation sur le site BTG 31 (protocole court).
- 7.5 a.m. à 8.5 s. : démontage, transfert, remontage des installations sur BTG 32.
- 9.5 à 16.5 m. : expérimentation sur BTG 32 (protocole long).
- 16.5 m. à 17.5 : démontage des dispositifs et du campement, chargement des véhicules, départ sur le site "Loumbila" (LBA 41).
- 18.5 à 21.5 : installation du campement, remontage des installations + activités annexes sur LBA 41.
- 22.5 à 28.5 m. : expérimentation sur LBA 41 (protocole long).
- 28.5 à 30.5 : démontage du campement et des installations, chargement des véhicules, formalités douanières.
- 31.5 : départ de Ouagadougou (2 camions, 1 land rover, remorque du simulateur), visite de douane au poste frontière le 1.6.
- 3.6 : arrivée à Adiopodoumé.

4 - DONNEES COLLECTEES ET RESULTATS ESCOMPTEES.

L'intervention du simulateur de pluies en zone soudano-sahélienne va nous permettre d'appréhender toutes les spécificités de comportement des sols sur lesquels se déroulèrent les essais ainsi que les modifications que peuvent apporter trois traitements culturels (labour - buttes cloisonnées - labour + mulch).

Les résultats obtenus comporteront certaines limites quant à leurs interprétations et leurs généralisations dans l'espace et dans le temps ce que nous évoquerons en conclusion de ce compte-rendu.

A titre d'informations complémentaires nous énumérerons les données et échantillons collectés durant cette mission, nous développerons ensuite la façon dont nous nous proposons de traiter ces données et présenter les résultats, enfin nous essaierons de dégager les premières constatations suffisamment fiables.

4.1. Liste inventaire des données et échantillons retenus.

A l'issue des essais effectués sur les 16 parcelles expérimentales nous disposons de :

- 164 limnigrammes correspondant aux enregistrements graphiques des ruissellements de 16 pluies simulées.
- environ 95 enregistrements graphiques sur les variations des réserves en eau du sol (chocs thermiques) qui seront dépouillés au Centre de Ouagadougou.
- 50 lectures de perméabilité MUNTZ sur sols secs et ressuyés.
- 339 échantillons de sol provenant d'environ 75 déterminations de profils hydriques (tarière et prélèvements sur fosse)
- 620 échantillons d'eau de ruissellement turbide pour Pouvoir déterminer l'érosion.
- 80 échantillons d'eau des lacs qui alimentèrent le simulateur (pour détermination des turbidités et charges solubles)
- 185 échantillons d'eau de ruissellement pour détermination des charges minérales et organiques solubles.
- 20 prélèvements de sol pour études micromorphologiques
- 40 échantillons de terre prélevés sur fosses pédologiques, sur parcelles à l'issue des essais, terres érodées
- 76 échantillons de terre pour déterminations de densités apparentes, réelles, stabilité structurale, eau retenue aux différents potentiels capillaires.

4.2. Proposition sur la présentation des données de base.

4.2.1. Présentation des données de base relatives au ruissellement et à l'infiltration.

Pour chaque essai, les documents de base sont les 2 hydrogrammes de ruissellement, points de départ indispensables à tout développement ultérieur des études concernant le ruissellement, l'infiltration et les transports solides en suspension ou solution.

Tous les couples averse-parcelle doivent donc d'abord donner lieu à l'établissement d'un graphique dont le modèle est reproduit en figure 6.

Sur ce graphique (théorique) où l'origine du temps en abscisse est le début de l'averse, sont représentés :

- l'intensité moyenne de l'averse : I_m en mm/h
- l'intensité maximale⁽¹⁾ de l'averse : I_x en mm/h
- l'intensité minimale⁽¹⁾ de l'averse : I_N en mm/h
- l'hydrogramme de ruissellement $I_r = f(t)$ également en mm/h.

A partir de ce document un bon nombre de caractéristiques intéressantes peuvent être extraites plus ou moins directement, nous en donnons la liste ci-dessous en précisant qu'il s'agit là, pour une grande part, d'une nomenclature utilisée par les hydrologues pour caractériser des événements liés "averses-crues" observés sur bassins versants et qu'il sera probablement nécessaire de la compléter et de l'adapter à la nature beaucoup plus fine des phénomènes observables à l'échelle d'une parcelle :

- tu, durée de la pluie utile (exprimée en minutes): elle correspond à la partie de l'averse susceptible de donner lieu à du ruissellement. Sur parcelle et dans la gamme des intensités utilisées jusqu'à présent (supérieures à 30 mm/h), on appellera la plupart du temps "pluie utile" la totalité de l'averse. Il lui correspond une hauteur de pluie utile P_u exprimée en millimètres et une intensité de pluie utile (égale dans le cas présent à I_m).

- te, durée de la pluie efficace (exprimée également en minutes), elle correspond à la partie de l'averse qui a donné lieu à du ruissellement.

Elle est égale à la durée totale de l'averse diminuée du temps séparant le début de l'averse du début du ruissellement. Il lui correspond, bien entendu, une hauteur de pluie efficace P_e qui est égale à $I_m \times t_e$ et une intensité efficace I_e qui est ici égale à I_u et à I_m .

(1) I_x et I_N sont obtenus en divisant la hauteur de précipitation mesurée à chaque averse sur les deux pluviomètres linéaires par la durée d'application de l'averse (t_u). I_m est obtenue en faisant la moyenne $\frac{I_x + I_N}{2}$ et doit être théoriquement une constante dans le temps pour une averse donnée si l'on néglige d'éventuels effets du vent.

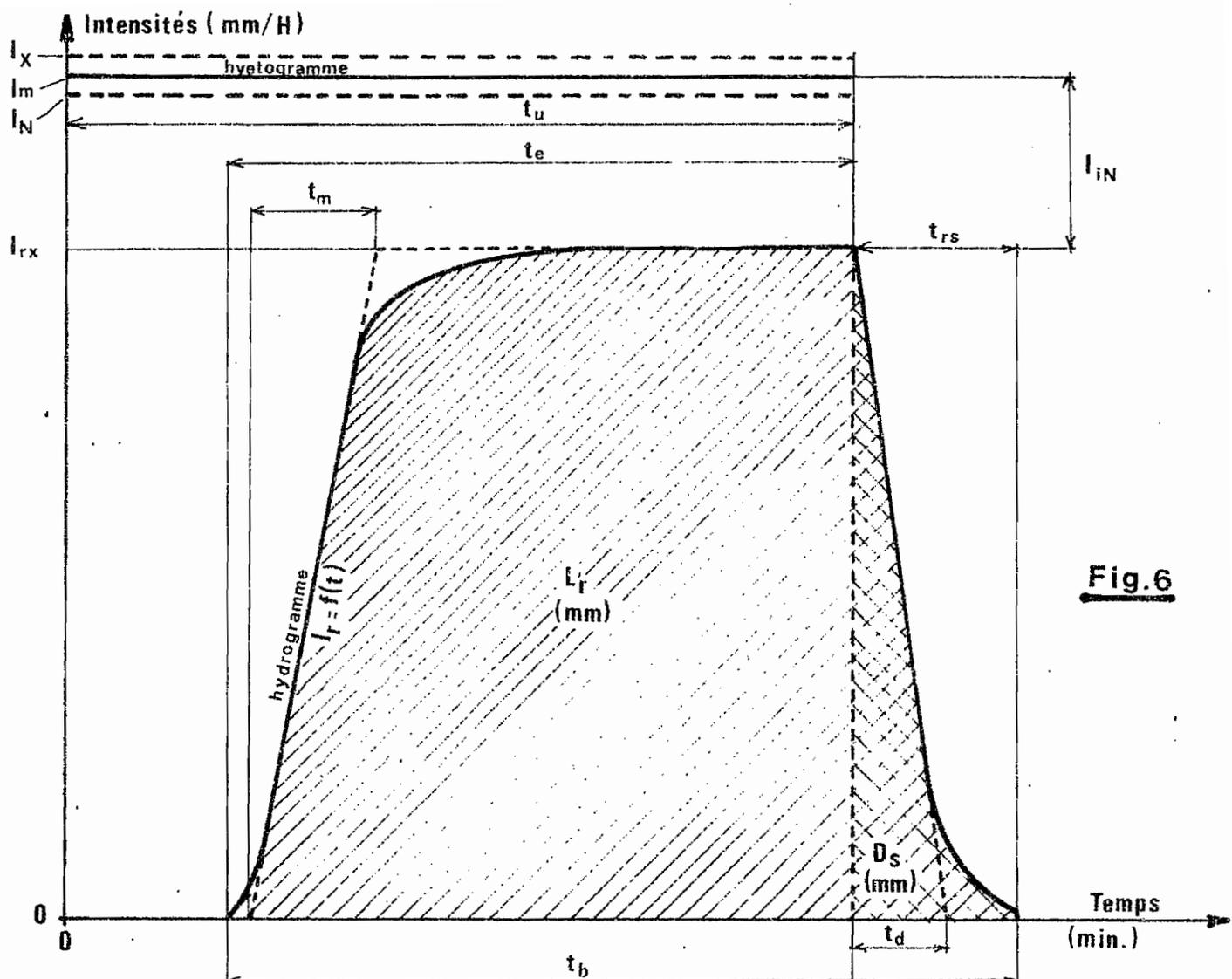


Fig. 6

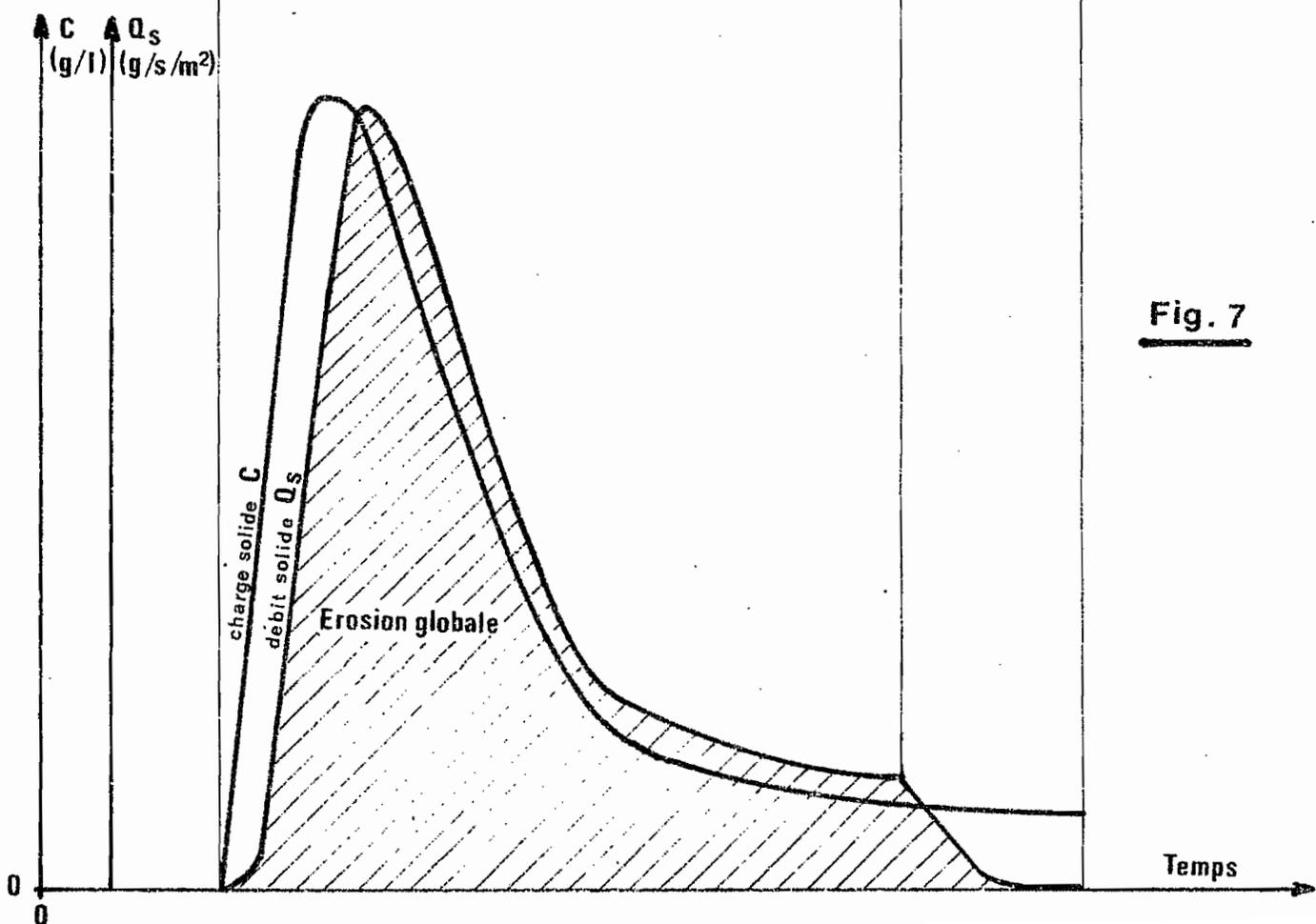


Fig. 7

Il convient de remarquer en passant, qu'il faudra inventer des termes nouveaux pour distinguer des paramètres présentant un certain intérêt tels que $t_u - t_e$ et $P_u - P_e$ car ils caractérisent respectivement le temps et la hauteur de précipitation préalables nécessaires pour qu'apparaisse du ruissellement dans des conditions initiales d'humectation données.

- t_b , temps de base de l'hydrogramme, il est égal à la durée totale du ruissellement.

- $I_r x$, intensité de ruissellement maximale (exprimée en mm/h), c'est d'ordonnée du point le plus haut de l'hydrogramme, elle correspond à un palier si la durée de l'averse est suffisante. Elle permet le calcul d'une intensité d'infiltration minimale : $I_{iN} = I_m - I_{rx}$

- t_m , temps de montée de l'hydrogramme, que l'on est conduit à définir graphiquement comme sur la figure n° 6 ; en effet l'expérience montre que la portion ascendante de l'hydrogramme (courbe en S) est très rectiligne dans sa partie centrale et il est donc souhaitable de disposer des éléments permettant de déterminer sa pente moyenne, soit le rapport $\frac{I_{rx}}{t_m}$ probablement caractéristique de la parcelle u de son état.

- L_r , lame d'eau ruisselée exprimée en millimètres et obtenue par planimétrage de l'hydrogramme. Elle permet de calculer les coefficients de ruissellement utile (K_{ru}) et efficace (K_{re})

$$\begin{aligned} \cdot K_{r u} (\%) &= 100 \frac{L_r}{P_u} \\ \cdot K_{r e} (\%) &= 100 \frac{L_r}{P_e} \end{aligned}$$

... ainsi que la lame d'eau infiltrée : $L_i = P_u - L_r$

- D_s , détention superficielle de la parcelle, (exprimée en millimètres) et qui représente la lame d'eau mobilisable pour le ruissellement après l'arrêt de la pluie. Elle est obtenue par planimétrage de la courbe de décrue (voir figure n° 6) et l'on peut lui faire correspondre un temps de décrue : t_d déterminé graphiquement. On peut remarquer que la portion de la courbe de décrue qui suit immédiatement l'arrêt de la pluie, présente en première approximation une pente constante qui doit, elle aussi, être caractéristique de la parcelle (pente, rugosité, couverture végétale) ; la pente moyenne de cette courbe est égale au rapport $\frac{I_{rx}}{t_d}$. Enfin, un autre paramètre qu'il est aussi de considérer t_d est la durée totale du ressuyage de surface que nous désignerons provisoirement par "trs".

En dehors de ces données résultant de l'examen de l'hydrogramme et dont la liste n'est d'ailleurs pas limitative, il conviendra de fournir les valeurs des paramètres ou indices susceptibles de caractériser l'état hydrique des parcelles avant chaque averse.

En continuant à faire référence à la terminologie des hydrologues on pourra dégager :

- t_a : laps de temps séparant l'averse considérée de l'averse précédente.

- P_a : hauteur totale de l'averse précédente

- $F(P_a, t_a)$: fonction plus ou moins complexe des paramètres P_a et t_a .

Dans le cas présent d'essais sur parcelles on disposera en outre de :

- H_{ia} : hauteur d'eau infiltrée au cours de l'averse précédente ou encore ...

- $\sum H_{ia}$: hauteurs cumulées infiltrées au cours des averses précédentes qu'il s'agira souvent de corriger du fait des pertes par évaporation.

On disposera enfin, dans de nombreux cas, de renseignements précis concernant la répartition et les volumes des réserves hydriques initiales du sol (chocs thermiques et prélèvements d'échantillons).

Afin de pouvoir analyser ces différentes données de base et établir des relations entr'elles, nous proposons de les rassembler sous la forme d'un tableau (tableau I) où sont regroupées les principales données relatives aux essais sur la parcelle PNI 13, les seuls que nous ayons eu le temps de dépouiller, assez succinctement d'ailleurs, jusqu'à présent.

4.2.2. Présentation des données de base relatives à l'érosion (turbidités et charges minérales).

La technique de prélèvement adoptée (cf. 2.3.1.2.) permettra d'établir avec les mêmes échelles de temps que l'hydrogramme correspondant l'évolution de l'érosion.

On peut s'attendre à observer les courbes théoriques de la figure 7 qui mettent en évidence des charges solides importantes en début de ruissellement et s'amenuisant par la suite pour les raisons invoquées ci-après en conclusion.

L'érosion globale (T/ha ou Kg/m²) due à l'averse, se déduit de la courbe de débit solide par simple planimétrie. D'autre part de nombreuses données supplémentaires seront extraites de ces courbes qui pourront être analysées comme cela a été fait au paragraphe précédent pour l'hydrogramme.

L'ensemble de ces données sera présenté en relation avec les caractéristiques des averses correspondantes et des traitements culturels mis en oeuvre sous forme de tableaux analytiques comparable au tableau I ; ceux-ci serviront de point de départ aux travaux de recherche.

La même présentation est proposée pour les pertes en solubles minéraux et organiques.

TABLEAU I

PNI 13 - DONNEES DE BASE PLUIES - RUISSELLEMENT - INFILTRATION.

REFERENCES - AVERSE				CARACTERISTIQUES - AVERSE						ETAT - PARCELLE				CARACTERISTIQUES HYDROGRAMME - RUISSE - INFILTRATION.							
N°	Reference	date	Heure debut de la serie	Pu mm	Pe mm	Im mm/H	tu mn	te mn	Pu - Pe mm	Pa mm	ta Heures	Σ Hi mm	(Σ Hi) _c mm	Lr mm	Li mm	Kru %	Kre %	Ds mm	εrs min	Iin mm/H	Irx mm/H
1	ERO 113	27-3-75	08H 38	59,8	51,4	59,8	60	51'34"	8,4	?	> 5 mois	0,0	0,0	38,9	20,9	65	76	2,2	11'22"	10	49,8
2	" 113	28-3-75	08H 23	30,2	27,5	60,1	30	27'30"	2,5	59,8	23	20,9	11,3	19,4	10,7	64,4	70,4	1,9	11'30"	12	48,1
3	" 313	"	"	30,6	29,4	61,1	30	28'51"	1,2	30,1	0 19	31,6	21,9	25,9	4,6	84,9	88,3	2,4	12'	7	54,1
4	" 413	"	"	30,0	28,0	59,9	30	28'	2,0	30,6	7 02	36,2	23,6	23,0	7,0	76,8	82,3	2,0	11'30"	6	53,9
5	" 513	"	"	30,7	29,7	61,4	30	29'	1,0	30,0	0 16	43,2	30,5	24,9	5,8	81,0	83,8	1,9	11'30"	5,7	55,7
6	HYD 113a	29-3-75	08H 43	11,4	10,0	59,7	11'30"	10'	1,5	30,7	15 45	49,0	30,1	7,5	3,9	65,8	75,7	2,0	9'30"	7,7	51,0
7	" 113b	"	"	10,0	8,6	59,7	10	8'40"	1,3	11,4	0 20	52,9	33,9	6,4	3,1	64,6	74,6	2,7	10'	9,0	50,7
8	" 113c	"	"	10,0	8,7	59,7	10	8'45"	1,2	10,0	0 20	56,0	36,8	7,8	2,2	78,3	89,4	2,7	10'15"	3,7	56,0
9	" 113d	"	"	9,6	8,3	57,6	10	8'39"	1,3	10,0	0 20	58,2	38,8	7,6	2,0	79,0	91,3	2,6	11'15"	2,0	55,6
10	" 113e	"	"	10,6	9,3	61,4	10'24"	9'04"	1,4	9,6	0 20	60,2	40,7	9,3	1,4	87,1	99,8	2,5	10'26"	5,4	56,0
11	" 113f	"	"	9,6	8,3	57,8	10	8'40"	1,3	10,6	0 20	61,5	42,0	7,7	1,9	(80,4)	(92,8)	1,8	9'05"	2,3	55,5
12	" 113g	"	"	9,8	8,5	59,0	10	8'40"	1,3	9,6	0 21	63,4	43,7	8,6	1,3	87,2	(100)	2,1	8'40"	2	57,0
13	" 113h	"	"	9,8	8,6	58,8	10	8'46"	1,2	9,8	0 20	64,7	44,8	8,7	1,1	89,0	(100)	1,9	9'40"	2,4	54,4
14	" 213a	"	15H 40	9,8	8,7	58,8	10	8'57"	1,0	9,8	3 15	65,8	44,6	7,6	2,2	77,0	86,1	2,2	8'40"	4,5	54,3
15	" 213b	"	"	10,0	8,7	60,1	10	8'43"	1,3	9,8	0 40	68,0	46,5	8,0	2,0	79,7	91,4	2,1	10'50"	3,5	56,6
16	" 213c	"	"	10,1	8,8	60,7	10	8'44"	1,3	10,0	0 40	70,1	48,2	7,5	2,5	(74,5)	(85,3)	1,9	10'50"	5,3	55,4
17	" 213d	"	"	10,0	8,7	59,7	10	8'43"	1,3	10,1	0 40	72,6	50,6	8,1	1,9	81,2	93,1	2,0	10'20"	7,5	52,2
18	" 313a	1-4-75	08H 20	19,5	16,3	58,5	20	16'43"	3,2	10,0	63	74,5	30,5	13,1	6,4	66,9	80,1	2,0	8'45"	6,7	57,8
19	" 313b	"	"	20,2	18,0	60,1	20	18'	2,0	19,5	0 30	81,0	36,7	15,2	4,8	76,0	84,4	(1,5)	9'40"	4,7	55,4
20	" 313c	"	"	19,7	18,7	59,2	20	18'57"	1,0	20,1	0 30	85,8	41,4	15,9	3,8	80,9	85,4	2,0	10'45"	4,0	55,1
21	" 313d	"	"	19,7	18,7	59,1	20	19'	1,0	19,7	0 30	89,5	44,9	16,4	3,3	83,5	87,9	1,9	9'40"	5,0	54,1
22	ERO 613a	"	14H 53	19,8	18,3	29,7	40	36'53"	1,5	19,7	3 45	92,8	46,6	16,1	3,7	81,4	88,3	1,3	11'30"	2,7	27,0
23	" 613b	"	"	19,5	17,8	58,4	20	18'12"	1,7	19,8	0 30	96,5	50,2	16,3	3,2	83,8	92,1	2,3	12'45"	4,4	54,0
24	" 613c	"	"	(18,4)	(16,7)	(82,7)	13'20"	12'07"	1,7	19,5	0 30	99,6	53,0	17,9	0,5	(97,5)	—	3,4	10'	0	82,7
25	" 613d	"	"	(18,9)	(16,7)	(113,3)	10	8'51"	2,2	18,4	0 30	100,2	53,3	18,5	0,4	(97,9)	—	5,0	9'30"	0	13,3

Note : - Ce tableau est provisoire . Les valeurs entre parenthèses doivent être revues.

- Les croix dans la colonne I_{in} signifient que le palier d'infiltration n'est pas encore atteint à l'arrêt de l'averse.

5 - CONCLUSION : LES PREMIERES OBSERVATIONS.

La mission vient de s'achever et nous ne pouvons livrer, pour l'instant que des conclusions très partielles issues d'observations qualitatives faites sur le terrain, ou bien de résultats de dépouillements fragmentaires⁽¹⁾

D'une manière générale, nous avons été surpris par l'ordre de grandeur des coefficients de ruissellement observés en Haute-Volta. L'exemple de la parcelle PNI 13.1 pour laquelle nous possédons déjà des données quantitatives assez précises confirme ces premières impressions. On peut en effet constater à l'examen du tableau I que les coefficients de ruissellement utiles sont compris entre 64 % (averse ERO 213) et près de 98 % pour la dernière averse ERO 613 au cours de laquelle très peu d'infiltration s'est produite⁽²⁾.

Au bout d'une semaine d'essais, sur un total de 437 mm de précipitation, la lame d'eau cumulée infiltrée n'était que de 100 mm de laquelle on doit retrancher une cinquantaine de millimètres repris par l'évaporation particulièrement intense à cette époque de l'année.

C'est donc en définitive un stock hydrique total estimé à 50 mm seulement qui a pu être emmagasiné par la parcelle.

Des prélèvements de contrôle à la tarière effectués après le dernier essai ont permis de voir que le front d'humectation n'avait pas dépassé 70 cm, on a pu en conclure que la quasi totalité de la réserve hydrique était destinée à être reprise par l'évaporation dans de brefs délais. Il s'agit là, bien

(1) Il convient de noter que la phase préliminaire de dépouillement est une opération extrêmement laborieuse: à titre indicatif, il faut compter une bonne semaine de travail pour qu'un calculateur entraîné puisse mettre sur pied un tableau tel que le tableau I, en multipliant ce temps par le nombre de parcelles étudiées au cours de la mission on arrive à une durée totale de quatre mois. On prévoit d'autre part un programme de terrain assez chargé pour le simulateur de pluies, il faut donc s'attendre à une accumulation rapide de documents non dépouillés dans les laboratoires concernés. Pour citer ceci il faudrait donc rédiger et mettre en oeuvre une chaîne de programme de calculs permettant la restitution automatique sur ordinateur des trois tableaux de données de base, ruissellement - transports solides - transports en solutions, mentionnés plus haut.

(2) En ce qui concerne l'infiltration, on a pu constater que, pour un même état initial, du sol, les résultats obtenus à l'infiltromètre MUNTZ sont entré une fois et demi et trois fois plus élevés que les valeurs déduites du dépouillement des hydrogrammes. Ce phénomène pourrait s'expliquer principalement par la création de zones de drainage préférentiel au niveau du contact avec les tôles des cylindres de l'infiltromètre. Il est possible qu'une étude comparative détaillée des résultats obtenus par les deux méthodes nous conduise à définir les conditions d'utilisation optimales de l'infiltromètre ainsi que les types de sols se prêtant le mieux à sa mise en oeuvre.

entendu; d'un cas précis qu'il serait prématuré de vouloir généraliser.

- Comparaison entre les comportements des parcelles à l'état naturel et des parcelles labourées.

Les réactions au ruissellement sont différentes au cours de la (ou des) premières averses ; les volumes ruisselés, ainsi que les intensités de ruissellement sont beaucoup plus faibles sur les parcelles labourées, ceci est probablement dû au fait que le labour crée une macroporosité importante dans les horizons perturbés et y favorise l'infiltration.

Mais ces conditions favorisant l'infiltration sont très précaires et le comportement de la parcelle labourée rejoint plus ou moins vite celui de la parcelle non travaillée. Ceci peut s'expliquer par la plus ou moins grande stabilité structurale des mottes de labour qui se désagrègent tandis que se forme un horizon perturbé à structure battante, compact, dans lequel la macroporosité diminue progressivement. En même temps se constitue en surface une pellicule de battance résultant du remaniement sur quelques millimètres des éléments fins se réagencant en strates. Il semble même que dans certains cas l'imperméabilisation des horizons de surface résultant de ce phénomène puisse dépasser celle des horizons moins modifiés de la parcelle restée à l'état naturel ; cette constatation a été faite sur la parcelle PNI 13.2 pour laquelle, à partir de la troisième averse, on observe des coefficients de ruissellement plus élevés que sur la parcelle PNI 13.1.

Nous avons également constaté que, dans la plupart des cas, les coefficients de ruissellement sont, d'emblée, plus élevés sur les parcelles présentant dès la surface un niveau gravillonnaire dense. On suppose que, dans le cas présent, ce type de matériau permet le maintien d'une macroporosité plus importante ; il est également possible que la pellicule de battance ne puisse pas se reconstituer d'une façon ainsi continue dès qu'affleurent de nombreux éléments grossiers (granulométrie du gravier).

En ce qui concerne l'érosion, nous ne disposons malheureusement d'aucun résultat analytique (échantillons d'eau turbide). Il nous a cependant été possible de constater "de visu" que les turbidités étaient maximales dès les premiers écoulements et qu'elles devenaient très faibles dès l'augmentation du ruissellement. Il est évidemment prématuré d'interpréter ces observations qualitatives car nous ne disposons pas encore des courbes de débit solide qui pourraient nous renseigner sur l'évolution de la dilution dans le temps, mais il est probable que ces débits solides décroissent en raison inverse de la détention superficielle : il arrive un moment où toutes les dépressions du sol étant submergées, une assez grande partie de la surface des parcelles est protégée de l'impact direct des gouttes de pluie par une lame d'eau, seules les zones émergées continuant à alimenter le débit solide.

- Essais de techniques culturales.

En fin de protocole (averse ERO 7), quelques techniques culturales, autre qu'un simple labour, visant à limiter l'érodibilité des sols et à favoriser l'infiltration, ont été testées.

Au total 10 essais de ce genre ont été réalisés sur cinq couples de parcelles correspondant à cinq types de sols différents. Deux de ces essais, partiellement dépouillés, ont été mis en oeuvre sur les parcelles PNI 13.1 et .2 :

- la parcelle PNI 13.1 a été aménagée en buttes cloisonnées
- la parcelle PNI 13.2 a été relabourée (même technique qu'au premier essai) puis recouverte d'un paillis protecteur de chaumes de sorgho.

L'intensité de l'averse appliquée sur le couple de parcelle était de 62 mm/h et sa durée de 110 minutes, ce qui représente une hauteur totale de précipitation de 113,5 mm. Leur hydrogramme sont reproduits sur le graphique n° 8 sur lequel figure également l'hydrogramme obtenu sur la parcelle n° 1 au cours du premier essai (60 mm/h pendant 60' sur un sol initialement sec). Pour plus de clarté dans ce qui va être développé nous désignons chaque hydrogramme par une lettre :

- A : sol non travaillé, initialement sec
- B : buttes cloisonnées, sol humecté par les pluies précédentes
- C : nouveau labour + mulch, sol également humecté.

Les différences de comportement les plus flagrantes apparaissant tout au long de la pluie sont les suivantes (cf. figure n°) :

- apparition du premier ruissellement : rapide pour A (7 minutes) et extrêmement différé pour B et C (20 minutes dans les deux cas), cette différence tient évidemment au temps de remplissage de la porosité artificiellement créée par les deux labours. Pendant les 40 minutes 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 paillis. Seules commencent à ruisseler les secteurs de parcelle situés au voisinage du canal de ruissellement.
- apparition d'un ruissellement généralisé : sur l'hydrogramme A, le ruissellement généralisé est atteint très peu de temps après l'apparition du premier écoulement alors qu'il est très progressif sur l'hydrogramme C où l'on peut voir qu'en fin d'averse le palier de ruissellement n'est pas encore atteint. Sur l'hydrogramme B on peut constater une montée relativement brutale du débit qui correspond à la rupture en chaîne des cloisons séparant les buttes et aux débordements des cuvettes.
- quantités d'eau ruisselées et infiltrées : les coefficients globaux de ruissellement sont respectivement de 22 % et 16 % pour les hydrogrammes B et C, ce qui correspond à des lames d'eau totales infiltrées de 88 et 95 mm. Pour l'hydrogramme A, le coefficient de ruissellement est de 65 % et la lame d'eau

Intensité (mm/H)

Averse ERO 713 - $I_m = 61,9$ mm/H

Averse ERO 113 - $I_m = 59,8$ mm/H

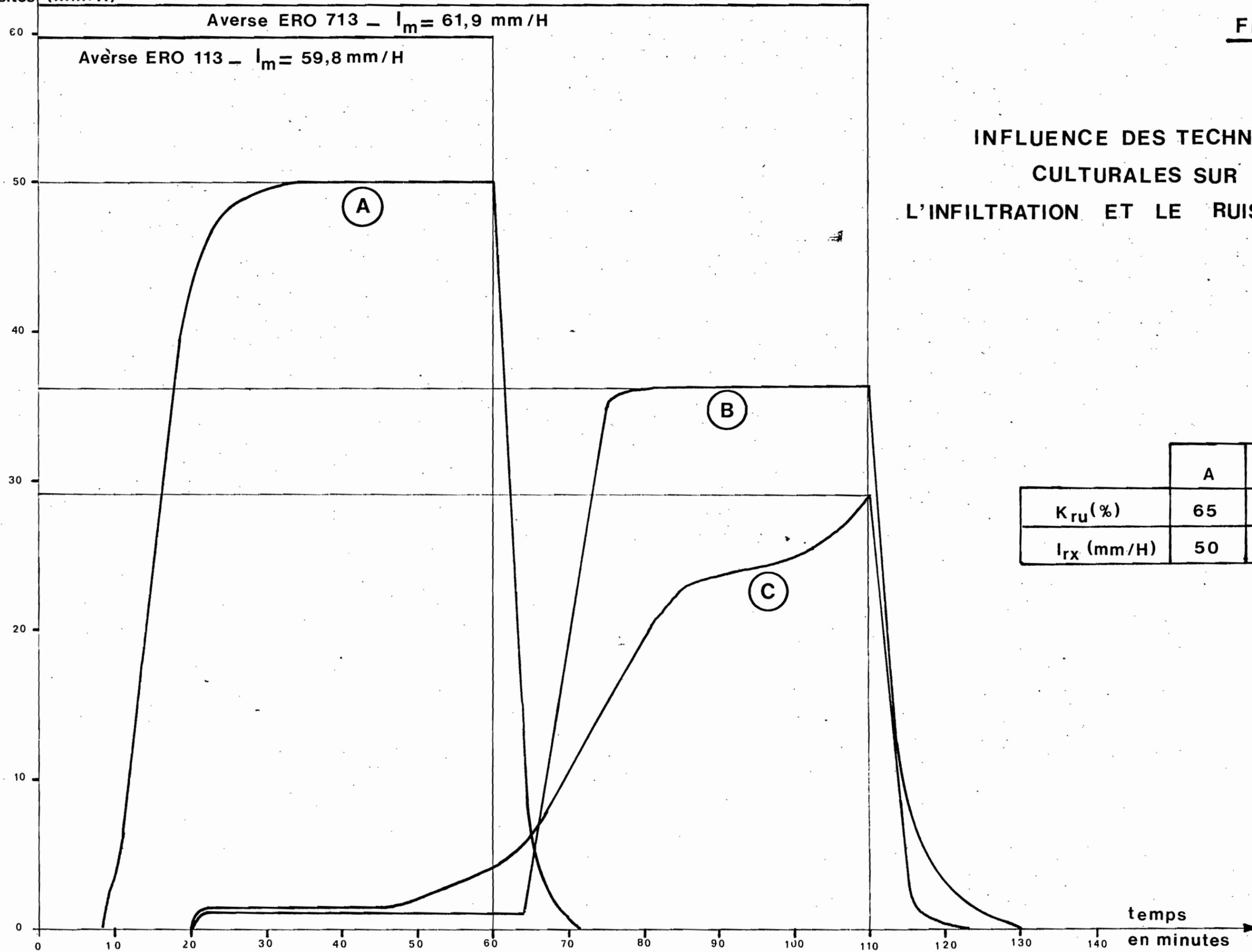


Fig. 8

INFLUENCE DES TECHNIQUES
CULTURALES SUR
L'INFILTRATION ET LE RUISSELLEMENT

	A	B	C
$K_{ru}(\%)$	65	22	16
$I_{rx}(\text{mm/H})$	50	36	29

infiltrée n'atteint que 21 mm pour 60 mm de précipitation ; en fait, pour faciliter la comparaison, on peut estimer grossièrement à 35 mm environ la lame d'eau qui se serait infiltrée si l'averse ayant engendré l'hydrogramme A avait duré, elle aussi, 110 minutes.

Il convient même de préciser que pour une averse de ce type se produisant dans de meilleures conditions d'humectation initiale, la lame d'eau infiltrée serait encore bien inférieure (de l'ordre de 20 à 25 mm si l'on s'en réfère aux données du tableau n° I, colonne "L_i mm"). C'est donc une réserve hydrique supplémentaire d'environ 65 mm en moyenne que le sol a pu emmagasiner au cours de cet essai grâce aux deux techniques culturales pratiquées.

- intensité d'infiltration maximale : 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 du temps de retard à l'apparition du ruissellement généralisé, mais il convient aussi de remarquer que lorsque s'instaure un régime permanent d'écoulement (palier sur les hydrogrammes A et B), les intensités d'infiltration observées sont 2 fois plus importantes sur parcelles travaillées (22 mm/h au lieu de 100 mm/h.).
- Durée des effets des techniques culturales.

L'effet bénéfique des 3 types d'aménagements culturaux (simple labour, labour + mulch, buttes cloisonnées) est, selon les types de sol, plus ou moins durable, il l'est d'autant moins que les agrégats et mottes de labour se détruisent plus rapidement.

Ce problème de la stabilité de la structure naturelle on crée artificiellement et les différentes possibilités de son amélioration a déjà été maintes fois traité par les physiciens du sol, dans le cas présent et en ne faisant mention que de nos premières observations il semble que des améliorations notables pourraient être obtenues :

- en évitant l'exportation quasi systématique de tous déchets de culture ; ces sols sont généralement très pauvres en matières organiques totales et ne contiennent très vraisemblablement que de faibles quantités de composés humiques très polymérisés et stables susceptibles de favoriser une structuration durable,
- en assurant une protection contre l'impact des gouttes d'eau, soit avec des résidus de culture soit en maintenant un couvert végétal le plus continu possible ; le rôle protecteur du paillis a été 5 fois démontré au cours de cette mission, dans presque tous les cas nous arrivions de cette façon à provoquer en une seule pluie, l'infiltration d'une hauteur d'eau à peine inférieure à celle correspondant à la somme des infiltrations de toutes les pluies précédentes du protocole expérimental.

- ajoutons enfin que ces techniques permettent de maintenir dans les horizons supérieurs des sols les colloïdes minéraux dont le rôle dans l'élaboration des agrégats est bien connu.

Nos essais viennent en complément des nombreuses expérimentations effectuées sur des parcelles recevant des précipitations naturelles, dans les deux cas il est commode de mettre en évidence la calamité que représente l'érosion, nous pensons par contre avoir plus de chance de pouvoir en déceler les causes et de proposer les remèdes grâce à la multiplicité des possibilités d'utilisation du simulateur de pluies.

J. COLLINET

J. ASSELINE

A. LAFFORGUE

BIBLIOGRAPHIE SOMMAIRE

- BOULET (R.) - 1968 -. Etude pédologique de la Haute-Volta, région : Centre Nord.
Rapport ORSTOM, Centre de Dakar-Hann, 351 p., multigr., 1 carte pédologique à 1/500.000e.
- ROOSE (E.J.) - 1974 -. Conséquences hydrologiques des aménagements antiérosifs.
in XIII Journées de l'Hydraulique, question 3, rapport 10, 6 p., 2 tabl., 33 réf.
- ROOSE (E.J.) - 1974 -. Contribution à l'étude de l'influence de la sécheresse sur l'évolution actuelle de certains sols ferrugineux tropicaux en zone sahélienne.
Rapport ORSTOM, Abidjan 18 p., multigr.
- ROOSE (E.J.), ARRIVETS (J.) et POULAIN (J.F.) - 1974 -. Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux de la région Centre Haute-Volta. Bilan de trois années d'observation à la Station de Saria.
Rapport ORSTOM/Abidjan - IRAT/Haute-Volta, 83 p., multigr., fig., tabl., 29 réf.