

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

BUREAU NATIONAL DE PEDOLOGIE
ET DE CONSERVATION DES SOLS

SERVICE DE CONSERVATION DES SOLS

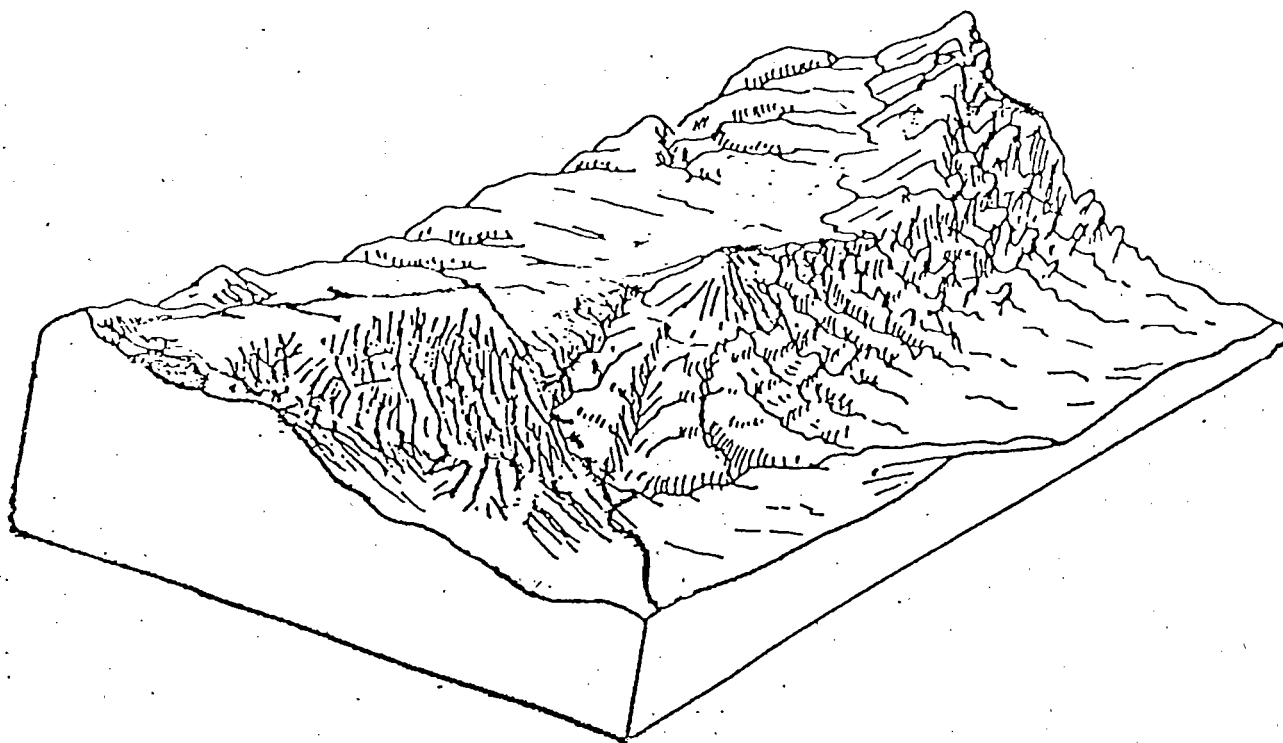
ORSTOM
INSTITUT FRANCAIS DE
RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE
DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

CENTRE ORSTOM DE BANGUI

LABORATOIRE DE GEOLOGIE
ET D'HYDROLOGIE

EROSION ET DEGRADATION DES COLLINES DE BANGUI :

Bilan de l'année 1992 et
Impacts sur l'environnement urbain



Samson KOKAMY-YAMBERE et Claude CENSIER

- Juillet 1993 -

MINISTERE DU DEVELOPPEMENT RURAL

BUREAU NATIONAL DE PEDOLOGIE
ET DE CONSERVATION DES SOLS

SERVICE DE CONSERVATION DES SOLS

O R S T O M
INSTITUT FRANCAIS DE
RECHERCHE SCIENTIFIQUE POUR LE
DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

CENTRE ORSTOM DE BANGUI

LABORATOIRE DE GEOLOGIE
ET D'HYDROLOGIE

EROSION ET DEGRADATION DES
COLLINES DE BANGUI :

Bilan de l'année 1992 et
Impacts sur l'environnement urbain

Samson KOKAMY-YAMBERE et Claude CENSIER

- Juillet 1993 -

L'étude de l'érosion et de la dégradation des collines de Bangui représente le thème de recherche développé par Monsieur Samson KOKAMY-YAMBERE dans le cadre d'un contrat d'association accordé par l'ORSTOM.

Nous remercions infiniment les responsables du Fonds d'Aide et de Coopération (FAC) d'avoir réalisé les travaux d'aménagement qui ont permis les mesures de drainage au niveau de la ville, et la Mission Française de Coopération et d'Action Culturelle qui a financé une mission de consultation pour l'étude de l'érosion et de la dégradation des collines de Bangui.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

I - METHODE D'ETUDE

- 1.1. Les parcelles expérimentales
 - 1.1.1. Description
 - 1.1.2. Mesure de l'érosion
- 1.2. L'exutoire Ngoubagara
 - 1.2.1. Station de jaugeage de l'hôpital de l'Amitié
 - 1.2.2. Station de jaugeage du marché de Miskine

II - RESULTATS ET DISCUSSIONS

- 2.1. Résultats au niveau des parcelles expérimentales
 - 2.1.1. Influence de la pluie sur le ruissellement et l'érosion
 - 2.1.2. Bilan annuel de pertes en terre
 - 2.1.3. Influence de la pluie sur la migration des cations échangeables
 - 2.1.4. Analyse de la variation des concentrations des eaux de ruissellement en matières solides.
 - 2.1.5. Recherche des principaux facteurs de l'érosion en sols nus.
 - 2.1.6. Influence de la pluie sur le ruissellement
- 2.2. Résultats au niveau de l'exutoire Ngoubagara
 - 2.2.1. Station du pont de l'hôpital de l'Amitié
 - 2.2.2. Analyse des événements pluvieux (forme des crues).

CONCLUSION

INTRODUCTION

La ville de Bangui est fortement dominée au Nord-Est par un relief accidenté constitué de grandes collines très escarpées et très colluvionnaires (fig 1 et 2). Leur altitude varie entre 665 et 400 m. Elles sont en partie drainées par des rivières torrentielles telles que : Ngola, Ngoubagara, Nguito, etc....

Ces collines qui, naguère, étaient sous manteau forestier, sont le lieu à l'heure actuelle d'activités humaines intenses (défrichements, cultures sans aménagement anti-érosif, feux de brousse, etc...). Toutes ces actions combinées concourent à la disparition rapide de la strate arborescente et à la dénudation des sols, les exposant ainsi à un ruissellement et à une érosion intense.

L'évolution de ces phénomènes érosifs constitue un réel danger (inondation, comblement des drains, etc...) pour la ville où de nombreux quartiers sont à présent bâtis dans des zones dépressionnaires à tendance marécageuse (BOULVERT, 1989).

Les autorités urbaines qui portent un intérêt croissant aux problèmes posés par l'érosion et la dégradation du couvert végétal se trouvent donc confronter à un problème de plus en plus aigu de drainage des eaux pluviales.

Ainsi, les principaux objectifs de cette étude ont consisté à analyser les processus de dégradation des collines en vue d'une meilleure connaissance des caractéristiques des exportations en charges liquides et solides vers la ville et par conséquent, d'une meilleure appréhension des dégâts causés. (inondations, ensablement, colmatage des drains, etc...).

Enfin, en fonction des aménagements préconisés par différents bureaux d'étude, des simulations ont été réalisées pour tester l'efficacité et prévoir les conséquences de ces modifications visant à réguler les débits de pointe et le ruissellement sur la ville.

I - METHODE D'ETUDE

Les méthodes d'étude utilisées ont pour objectifs de quantifier les processus d'érosion et de dégradation des collines à deux niveaux différents (KOKAMY-YAMBERE, 1992) :

- A l'amont : estimation du ruissellement et des quantités des matières arrachées aux collines à chaque pluie, au niveau de mini-parcelles expérimentales.

- A l'aval : estimation des exportations au pied des collines, au niveau de collecteurs d'évacuation des eaux de ruissellement.

1.1. Les parcelles expérimentales

Le site d'expérimentation comporte quatre mini parcelles (fig 3), ayant chacune une surface d'un m², réparties selon les variations de la pente et les états de surface du sol (type de végétation, pierrosité, etc...).

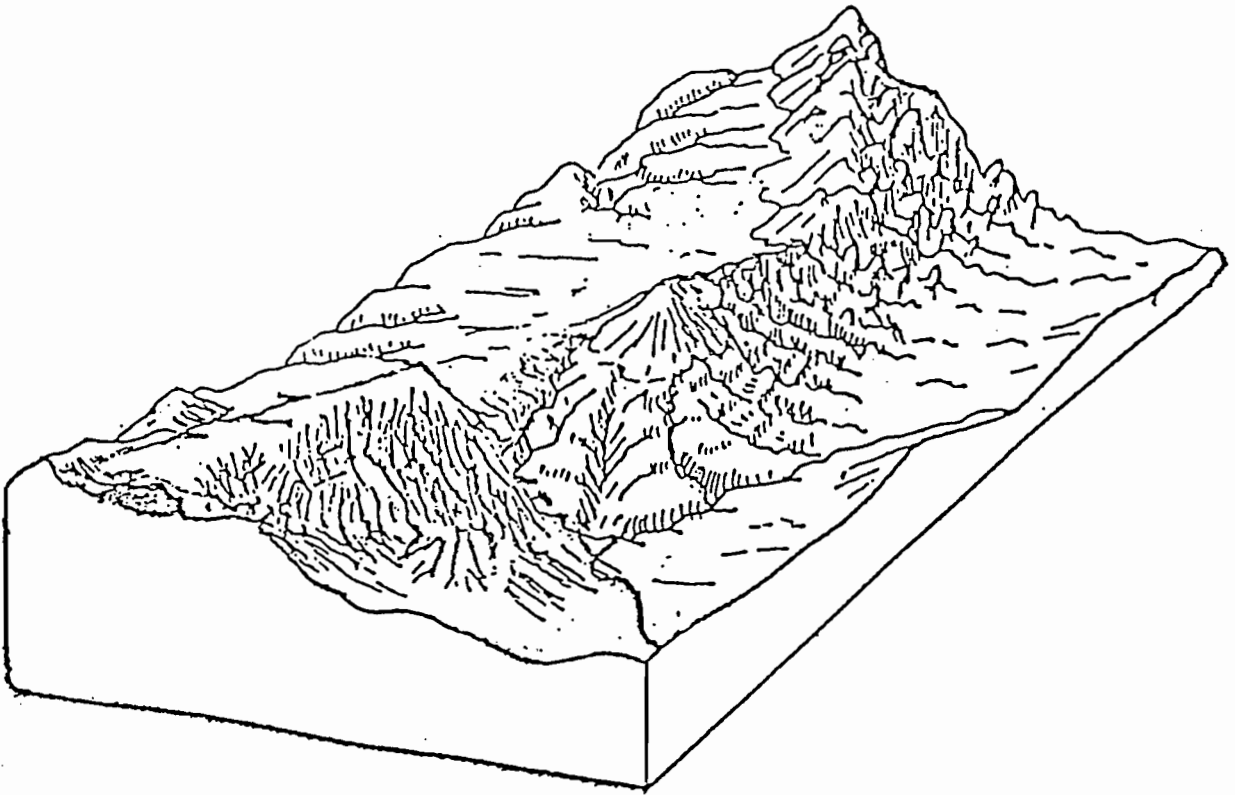


FIGURE 1 : Bloc diagramme des collines de Bangui

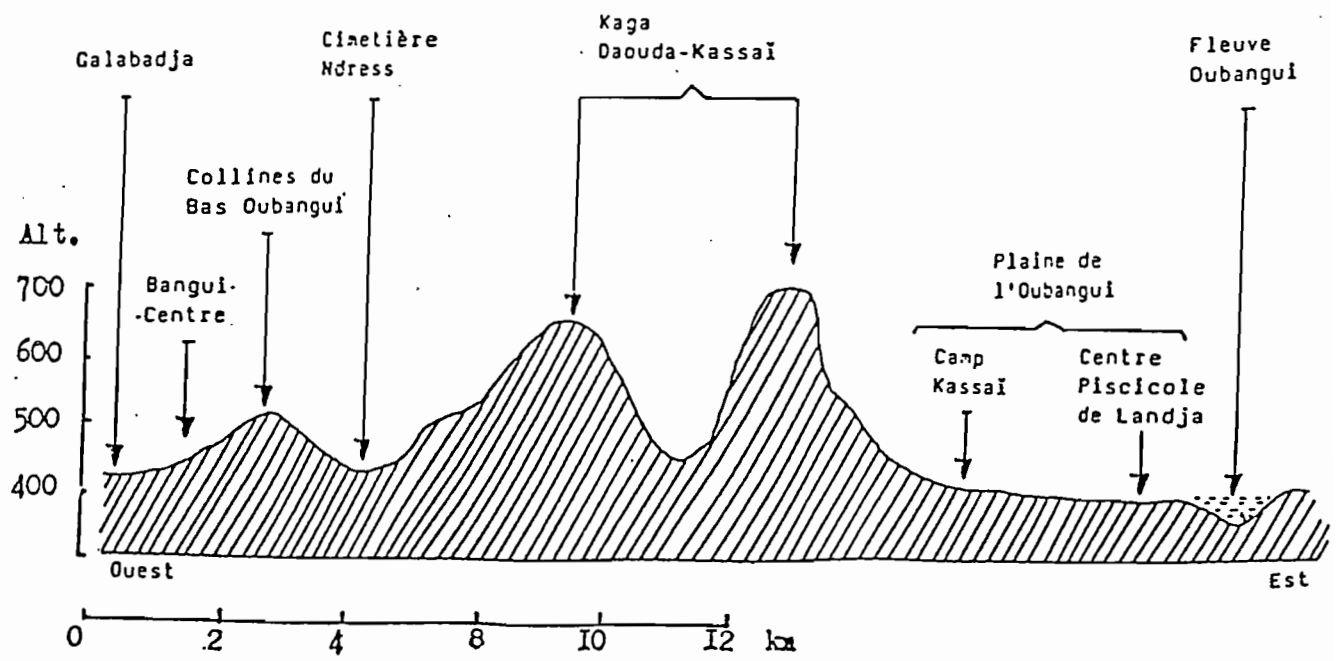


FIGURE 2 : Coupe géomorphologique de la région de Bangui

1.1.1. Description

Parcelle nue n°1 (photo n°1)

Installée depuis septembre 1991, elle se situe à mi-pente dans un champ de manioc à une altitude de 469 m. La pente générale au niveau de la mini-parcelle est de 53%. L'expérimentation se fait sur un sol très gravillonnaire (47% de gravillons dans les horizons de surface).

Parcelle nue n°2 (Photo n°2)

Mise en place en juillet 1992, la deuxième mini-parcelle d'expérimentation en sol nu se situe en aval de la première à une altitude de 444 m. La pente générale au niveau de la mini-parcelle est de 49 %. Les sols sont moins gravillonnaires que ceux de la parcelle précédente.

Parcelle couverte n°1 (Photo n°3)

Voisine de la parcelle nue n°1, elle est également implantée sur des sols gravillonnaires. L'altitude est de 447 m et la pente générale est de 51 %. La végétation à cet endroit est un recrû de jachère constitué notamment d'*Eubatorium Chromolaïna* et de *Pueraria*. Les sols sont pierreux en surface.

Parcelle couverte n°2 (Photo n°4)

Ouverte en octobre 1992 au tiers inférieur du versant, la parcelle couverte n°2 se situe à une altitude de 426 m. La pente générale à ce point est de 48 %.

La strate herbacée est à dominance de *Anadelphia arreta* et de *Monocibium Ceresiiforma*. Les sols sont dans l'ensemble très gravillonnaires.

1.1.2. Mesure de l'érosion

La méthodologie (THEBE, 1987) consiste à mesurer sur le groupement des quatre parcelles (parcelles nues et parcelles couvertes), la lame d'eau ruissellée, sa concentration en éléments fins (argile, limon, sable) et en bases échangeables (Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+) au cours d'une averse ou d'une série d'averses dont on détermine les caractéristiques (hauteur, durée, intensité et fréquence).

La mesure du ruissellement et la collecte des sédiments sont effectuées dans une cuve réceptrice (fig 4) surmontée d'un limnigraphe (photo n°5) qui enregistre le ruissellement, ce qui permet de tracer l'hydrogramme de crue sur la parcelle.

Les eaux de ruissellement recueillies dans le réceptacle sont entièrement prélevées, passées au tamis de 50 microns (collecte de la fraction sableuse) et ensuite filtrées à 0,45 micron pour recueillir les fractions limoneuses et argileuses.

Les sédiments collectés sont séchés à l'étuve à 105°C et pesés pour le calcul de la turbidité. L'analyse chimique des eaux ruisselées permet de quantifier les pertes en cations métalliques (Ca^{++} , Mg^{++} ; K^+ , Na^+) au cours des averses enregistrées.

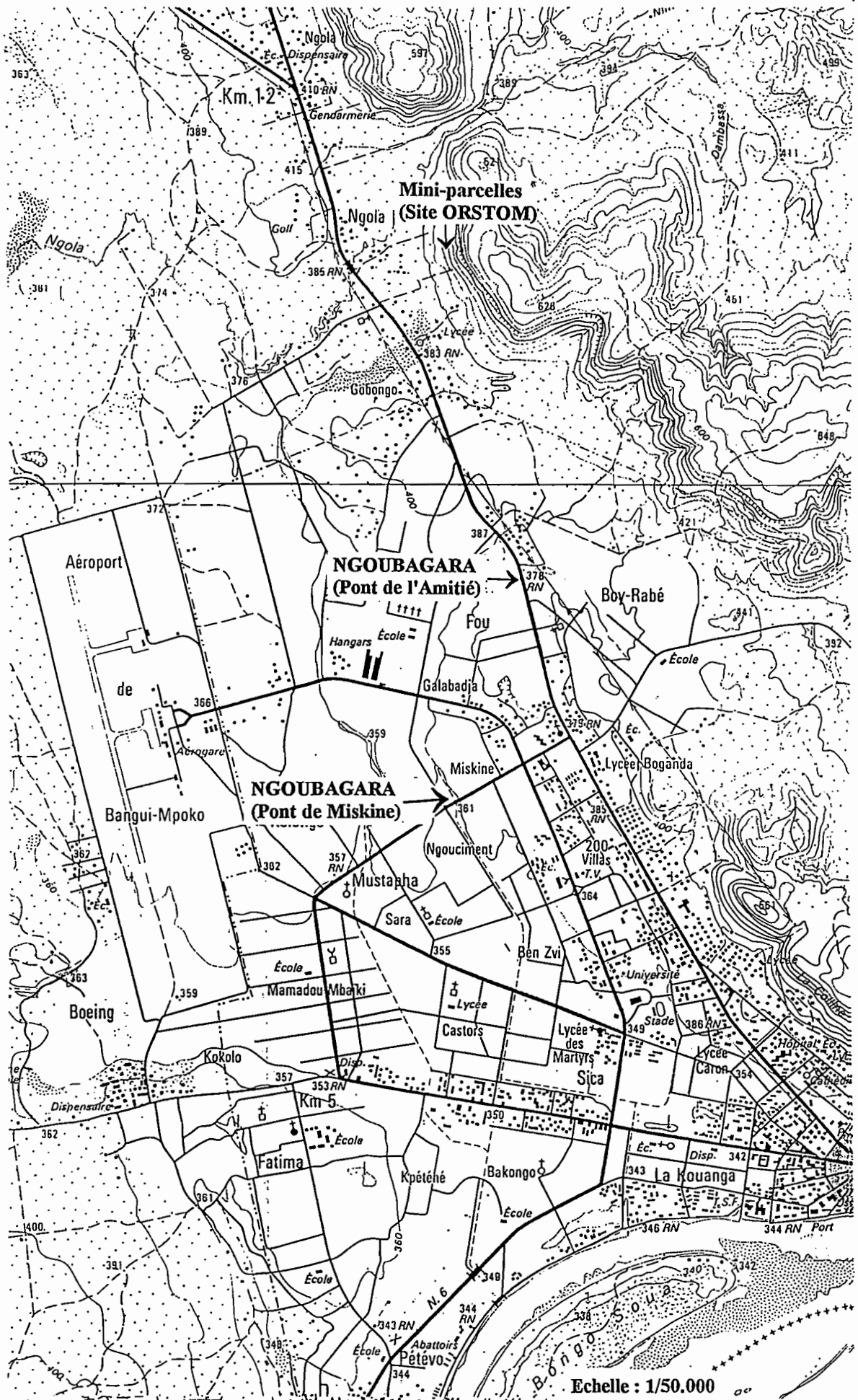


FIGURE 3 : Localisation des sites d'étude de l'érosion des collines de Bangui



Photo n° 1 : Sol nu n° 1

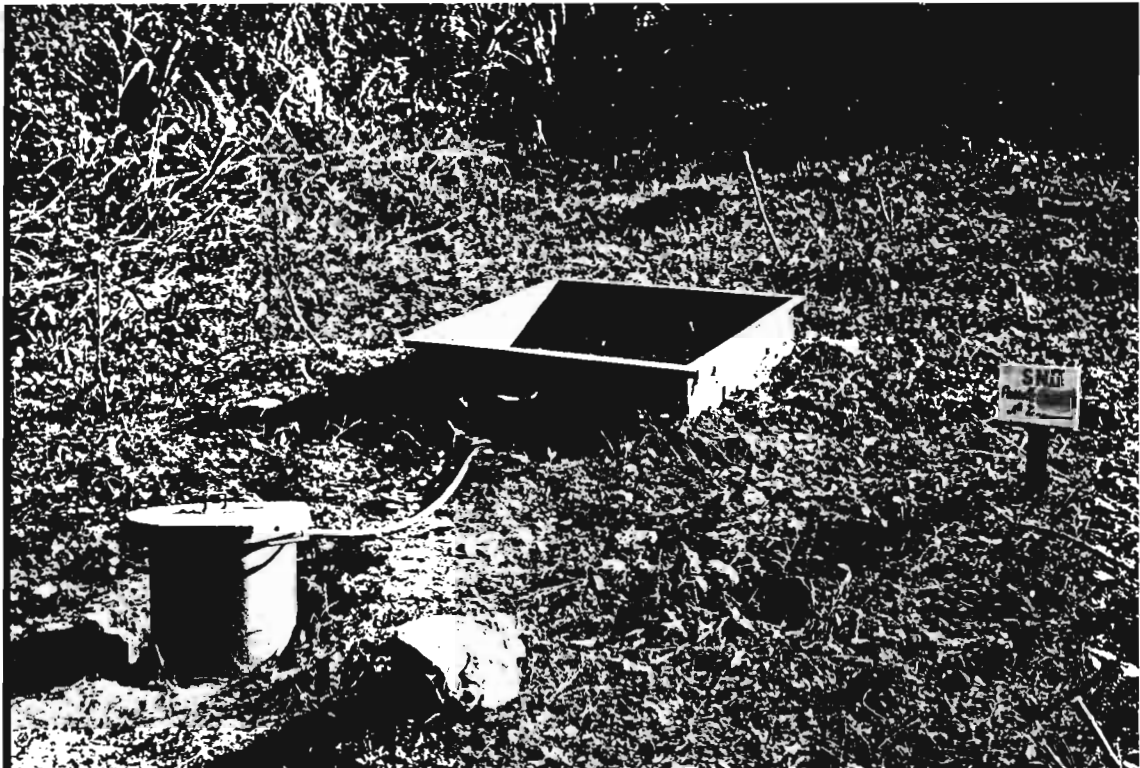


Photo n° 2 : Sol nu n° 2



Photo n° 3 : Sol couvert n° 1



Photo n° 4 : Sol couvert n° 2

Les dispositifs expérimentaux comprennent :

- La parcelle de mesure matérialisée par un cadre métallique (fig 4a) d'un m² enfoncé dans le sol de cinq cm. Ce cadre comporte à sa face inférieure une dizaine de petits trous permettant l'écoulement des eaux de ruissellement de la mini-parcelle dans un canal collecteur (fig 4c) relié au récepteur (fig 4b) par un tuyau d'amenée d'une longueur d'environ 1,00 m (fig 4d).

- Le dispositif d'enregistrement constitué d'un limnigraphe à mouvement de rotation assez rapide (32 heures) ; il autorise une précision de 10 mn en temps et de 1/5 millimètre en hauteur de lame ruisselée. Ce limnigraphe est monté sur le réceptacle des eaux de ruissellement venant de la mini-parcelle.

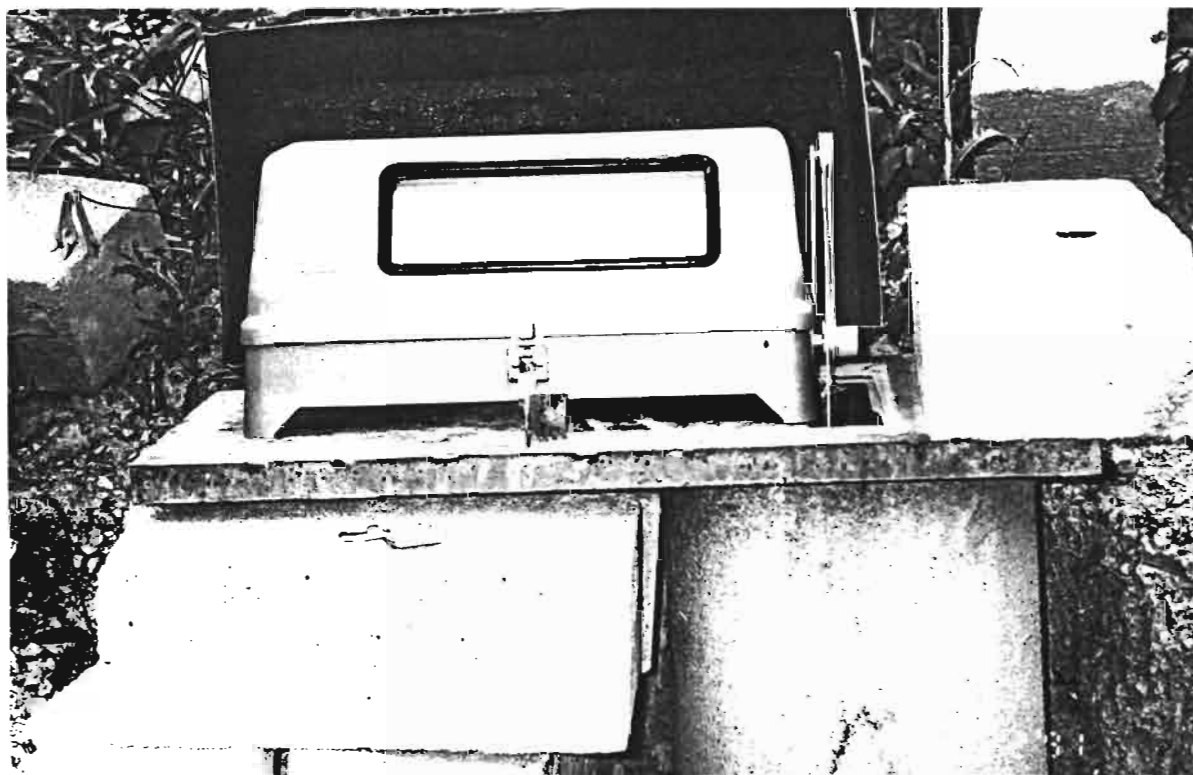
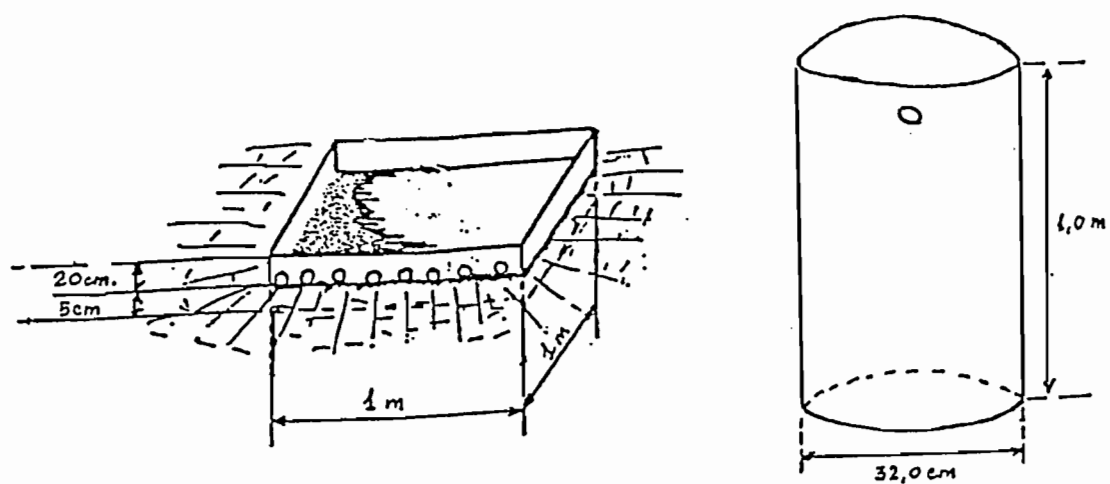


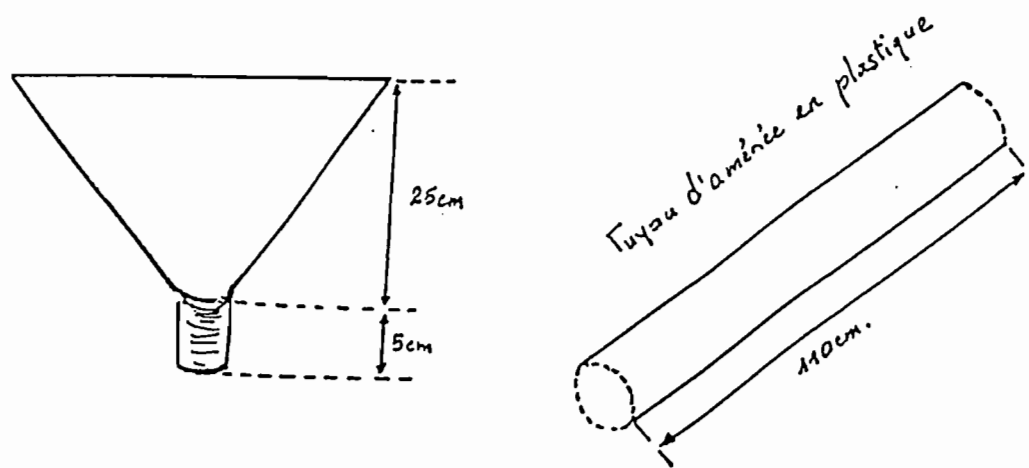
Photo n° 5 : Limnigraphe installé au niveau de la mini-parcelle

SCHEMAS DES DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX



a - Cadre métallique

b - Réceptacle



c - Canal collecteur

d - Tuyau d'amenée

FIGURE 4 : Dispositifs expérimentaux au niveau des mini-parcelles

1.2. L'exutoire Ngoubagara

Le premier exutoire au niveau duquel des études ont été réalisées est le cours d'eau Ngoubagara. Deux stations ont été retenues : le pont de l'hôpital de l'Amitié (photo n°6) et le pont du marché de Miskine (photo n°7) distant l'un de l'autre d'au moins 2 km.

1.2.1. Station de jaugeage de l'hôpital de l'Amitié (photo n°6)

Les travaux réalisés consistent à évaluer les débits liquides et solides (BOURRIER, 1991). Un limnigraphe installé au niveau du pont permet d'enregistrer les crues.

Des jaugeages effectués au moulinet et aux flotteurs pendant les crues ont permis d'étalonner la station. Pour la collecte des sédiments, la méthodologie consiste à prélever à chaque crue, un bidon d'un litre d'eau toutes les montées/descentes de 15 cm en notant l'heure et le niveau à l'échelle limnimétrique avec un prélèvement au maximum de la crue.

Les échantillons prélevés sont soumis au même traitement (tamisage, filtration et pesée des sédiments) que ceux provenant des mini-parcelles.

1.2.2. Station de jaugeage du marche de Miskine (photo N°7)

Jusqu'à présent, seuls, quelques prélèvements et lectures d'échelle ont été effectués.

C'est au cours de cette saison des pluies que seront entrepris :

- l'étalonnage de la station,
- l'estimation du ruissellement urbain au niveau de ce bassin versant,
- la détermination des apports, en liaison avec l'érosion et le ruissellement au niveau de la colline et des apports liés au ruissellement urbain.

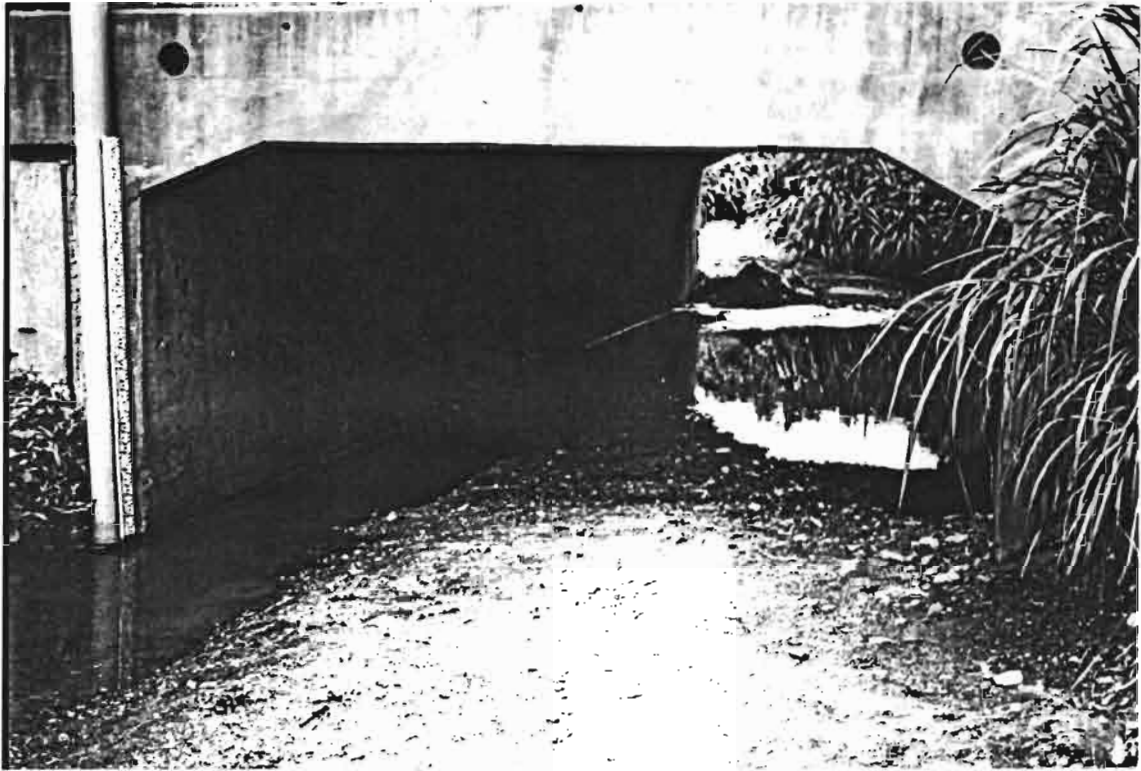


Photo n°6 : Station n° 1 (Pont de l'hôpital de l'Amitié)

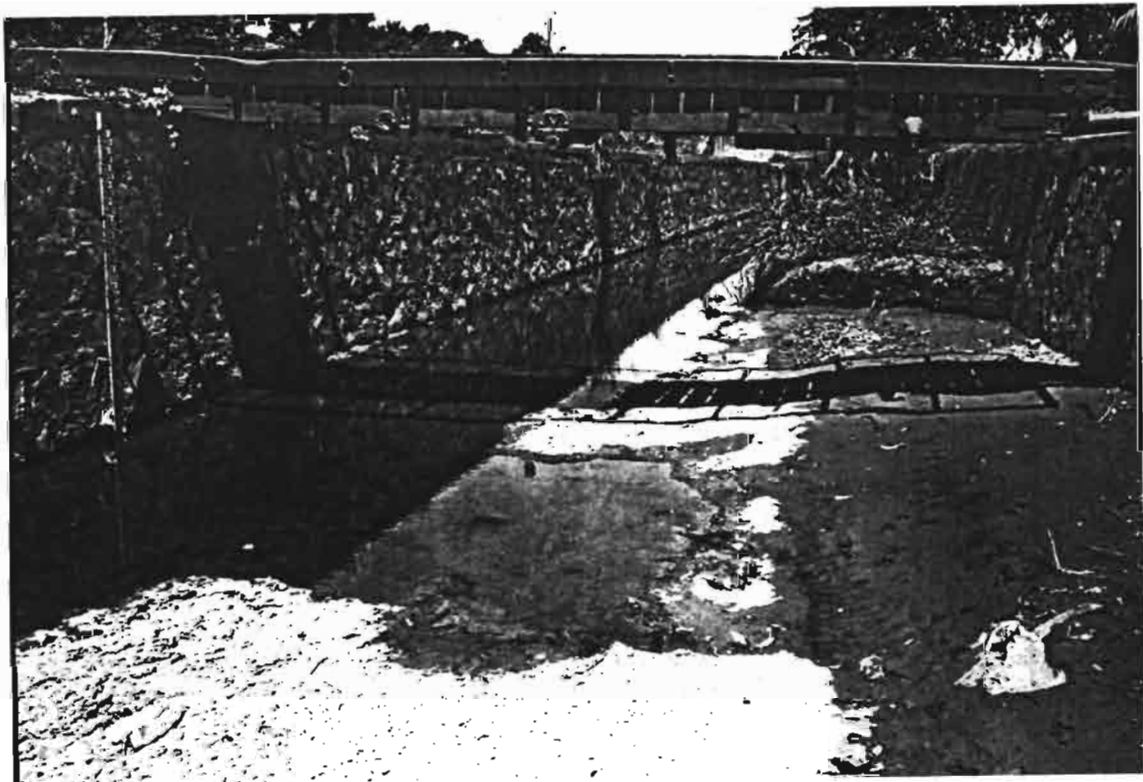


Photo n°7 : Station n° 2 (Pont du marché de Miskine)

II - RESULTATS ET DISCUSSIONS

2.1. Résultats au niveau des parcelles expérimentales

2.1.1. Influence de la pluie sur le ruissellement et l'érosion.

Quelques résultats des mesures permettant d'apprécier l'influence de la pluie (hauteur, durée, intensité, fréquence) sur le ruissellement et l'érosion au niveau des collines sont indiqués dans le tableau I.

Datés	Pluie		Ruissellement (%)		Erosion (g/m ²)		
	Hauteur (mm)	Intensité max. (mm/h)	Indice précip. (IK en mm)	Parcelle nue n°1	Parcelle nue n°2	Parcelle nue n°1	Parcelle nue n°2
13.05.92	35.40			28.90		166.03	
15.05.92	30.80		13.00	37.20		584.10	
24.07.92	24.60		7.00	40.90	41.67	66.81	200.52
26.07.92	59.20	27.00	11.00	63.85	80.07	497.12	1661.31
04.08.92	43.00	8.40	7.00	53.00	56.55	238.37	
05.08.92	2.30	3.00	30.00	58.70	70.22		
02.11.92	19.10	22.80	8.00	46.90	52.30	200.00	
04.11.92	68.00	47.40	10.00	75.10	79.00	450.00	3.64
06.11.92	24.50	57.60	29.00	85.70	82.00	276.76	3.85
07.11.11.92	17.00	30.00	32.00	87.00	72.05	128.13	

Tableau I : Influence de la pluie sur le ruissellement et l'érosion

Il apparaît que le ruissellement et l'érosion les plus élevés ont lieu lorsque le sol est humide (valeur élevée de l'indice de précipitation antérieure (IK), (VALENTIN et CASENAVE, 1992) soumis à une succession de pluies. Cela s'explique par le fait que le sol initialement saturé par les premières pluies n'a pu encore se ressuyer et par conséquent les dernières pluies quels que soient leurs caractères et les états de surface du sol ruissellent beaucoup plus qu'elles ne s'infiltrèrent.

La fréquence des pluies apparaît ainsi déterminante dans le processus de ruissellement et de l'érosion au niveau des collines.

Une répartition des pluies par classes d'intensité (ROOSE, 1977) (tabl. II) permet également de constater qu'au niveau des collines de Bangui, les pluies caractérisées par une intensité instantanée maximum inférieure à 3,0 mm/h sont très rarement érosives (le ruissellement et l'érosion ne se produisent que lorsqu'il y a succession de pluies). En calculant le pourcentage de pertes annuelles en terre, on remarque qu'il n'atteint que 0,002% de la valeur totale.

- Classe d'intensité instantanée maximum (mm/h)	0-3.0	3.0-12.0	12.0-24.0	24.0-36.0	>36.0
- Nombre de pluies	30.00	17.00	10.00	7.00	5.00
- Nombre de pluies érosives	4.00	15.00	10.00	7.00	5.00
- % constitué par les pluies érosives	13.30	88.20	100.00	100.00	100.00
- Pertes/an en terre en sol nu (g/m ²)	14.30	875.00	1006.10	1609.70	2676.10
- % de pertes annuelles en terre	0.002	14.15	16.27	26.06	43.29

Tableau II : Répartition des pluies et des pluies érosives en fonction des intensités instantanées maximum au niveau des collines de Bangui (sol nu n°1).

Il ressort aussi du même tableau que le ruissellement et l'érosion se déclenchent très fréquemment lorsque l'intensité instantanée maximum dépasse 3,0 mm/h. Enfin, ils se déclenchent toujours lorsque celle-ci atteint et dépasse 12,0 mm/h. Le pourcentage de terre entraînée se chiffre à 85,6%.

2.1.2. Bilan annuel de pertes en terre

Les parcelles expérimentales couvrent chacune une surface d'un m². Ainsi, seule une érosion en nappe (ruissellement diffus des eaux de pluies sans aucune concentration préférentielle) se manifeste (DE NONI et al., 1989-1990).

Mois	Pluie					Pertes en terre (g/m ²)			
	Lame ruisselée (mm)								
	Haut.(mm)	Parcelle nue n°1	Parcelle nue n°2	Parcelle couv. n°1	Parcelle couv. n°2	Parcelle nue n°1	Parcelle nue n°2	Parcelle couv. n°1	Parcelle couv. n°2
Avril	63	5.95		0.61		55.33		7.22	
Mal	179.75	68.25				1210.75			
Juin	111	37.6	21.35			1313.49	567.42		
Juillet	249	118.29	149.53	6.02		1978.73	5013	8.5	
Aout	264.4	161.23	157.21	3.66		1367.07	1056.78	12.1	
Sept.	127.5	66.44	71.91			349.67	406.06		
Oct.	171.3	137.04	128.2		2.95	950.5	1838.95	1.83	40.63
Nov.	163.4	125.64	123.95	0.55	121.39	1254.99	2383.92	7.49	173.14
Déc.	25.5	15.25	16.97		1.17	109.89	169.92		7
Total	1354.85	735.69	669.12	10.84	125.51	8590.42	11436.05	37.14	220.77

Tableau III : Bilan mensuel de pertes en terre en 1992.

Il convient de remarquer que le bilan annuel de perte en terre est très élevé (tabl. III). Il se chiffre à environ 86 t/ha/an en parcelle nue n°1 et 114t/ha/an pour la parcelle nue n°2.

Par contre, en sol couvert, nous constatons que la perte en terre est très faible (0,4 t/ha/an en parcelle couverte n°1 et 2,2 t/ha/an pour la deuxième parcelle couverte).

Ce tableau met également en évidence le rôle protecteur du couvert végétal.

2.1.3. Influence de la pluie sur la migration des cations échangeables

Etant donné que les collines sont en majeure partie soumises à des activités agricoles intenses, il nous a semblé intéressant de quantifier les pertes en cations échangeables au cours d'une averse ou d'une série d'averses. Les résultats d'analyse chimique des eaux de ruissellement du mois d'août 1992 sont regroupés dans le tableau IV.

Dates	Parcelle nue n°1 (Cations en mg/m ²)						Parcelle nue n°2 (Cations en mg/m ²)					
	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	pH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺
10.08.92	6	412.64	123.79	142.88	264.6	55.71	6.3	527.01	189.72	211.86	385.24	18.97
13.08.92	5.8	40	12	15	30.25	1.8	6.5	110.70	14.76	16.54	41.33	3.69
18.08.92	5.8	46.8	7.02	18.49	38.38	7.02	6	37.20	13.39	19.86	35.27	1.79
23.08.92	8.4	236.4	47.28	64.62	278.75	4.73	6.4	155.60	46.68	49.40	102.89	7.00
26.08.92	6.3	201.2	60.36	86.26	201.2	15.09	6.4	176.00	26.40	59.18	157.30	5.28
29.08.92	6.4	195	46.8	52.45	142.54	4.68	5.9	115.00	46.20	44.27	137.64	6.93
	Total	1132.04	297.25	379.7	965.72	89.03		1121.51	337.15	401.11	859.67	43.66

Tableau IV : Résultats analytiques des eaux de ruissellement des collines de Bangui (mois d'août 1992).

L'analyse chimique des eaux de ruissellement recueillies révèle une forte migration des cations métalliques en sol nu, ce qui conduit irréversiblement, en accord avec les pertes en terres (tabl III), à un appauvrissement total à moyen terme des collines déjà naturellement pauvres. La somme des bases échangeables entraînées avec les eaux de ruissellement se chiffre à 2,85 g/m² pour la parcelle nue n°1 et à 2,76 g/m² pour la parcelle nue n°2 pour le mois d'août 1992.

Considérés isolement, certains cations tels que Ca^{++} et Na^+ semblent avoir migré plus que d'autres mais, en réalité, cela dépend beaucoup plus de la richesse des horizons superficiels des sols en chacun de ces éléments.

D'après le tableau IV, la perte en NH_4^+ semble apparemment faible par rapport à celle des autres éléments alors qu'en réalité, c'est la plus élevée du fait que les sols des collines en sont naturellement déficients.

2.1.4. Analyse de la variation des concentrations des eaux de ruissellement en matières solides

L'évolution de l'érosion au cours des 7 mois de pluie en 1992 a été mesurée par analyse de la variation des concentrations moyennes en matières solides par crue. La figure 5 permet de faire ressortir trois périodes d'évolution du phénomène.

- Première période : deuxième décade du mois de mai

Les fortes valeurs des concentrations en cette période résultent certainement du remaniement du sol par un travail de nettoyage de la mini-parcelle mais sont également dûes à la violence des orages du début de saison et à l'activité faunique.

- Deuxième période : première et deuxième décade du mois de juillet

Les valeurs des concentrations enregistrées en cette deuxième période devraient logiquement être faible du fait que le sol est supposé nettoyé par les pluies de la première période. Or, en réalité, il se produit un phénomène inverse ; ces valeurs demeurent encore très élevées. Cela traduit l'érodibilité des sols au niveau des collines lorsqu'il sont découverts de végétation.

- Troisième période : elle correspond au trois derniers mois de pluie (septembre, octobre, et novembre). Cette dernière période se caractérise par une chute brutale des valeurs moyennes de concentrations ayant pour causes l'enherbement des mini-parcelles et également la formation des croûtes à la surface du sol.

2.1.5. Recherche des principaux facteurs de l'érosion en sols nus

La figure 6 (couple lame ruisselée-érosion) permet de constater que la relation entre les deux valeurs est linéaire pour des valeurs moyennes de lame ruisselée mais que le poids des sédiments croît de moins en moins vite pour des valeurs importantes de lame ruisselée.

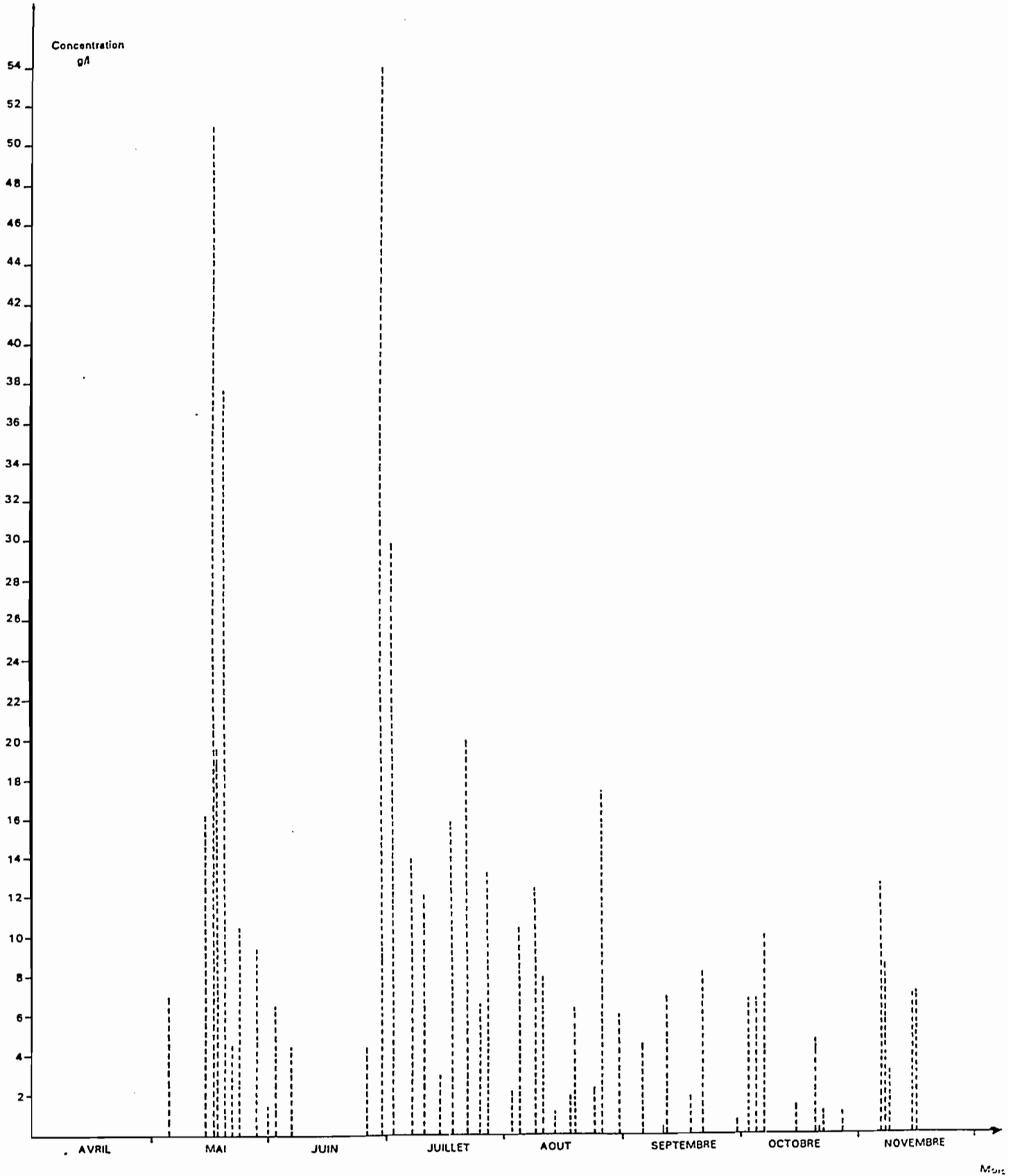


FIGURE 5 : Evolution des concentrations moyennes des eaux de ruissellement en matières solides (1992)

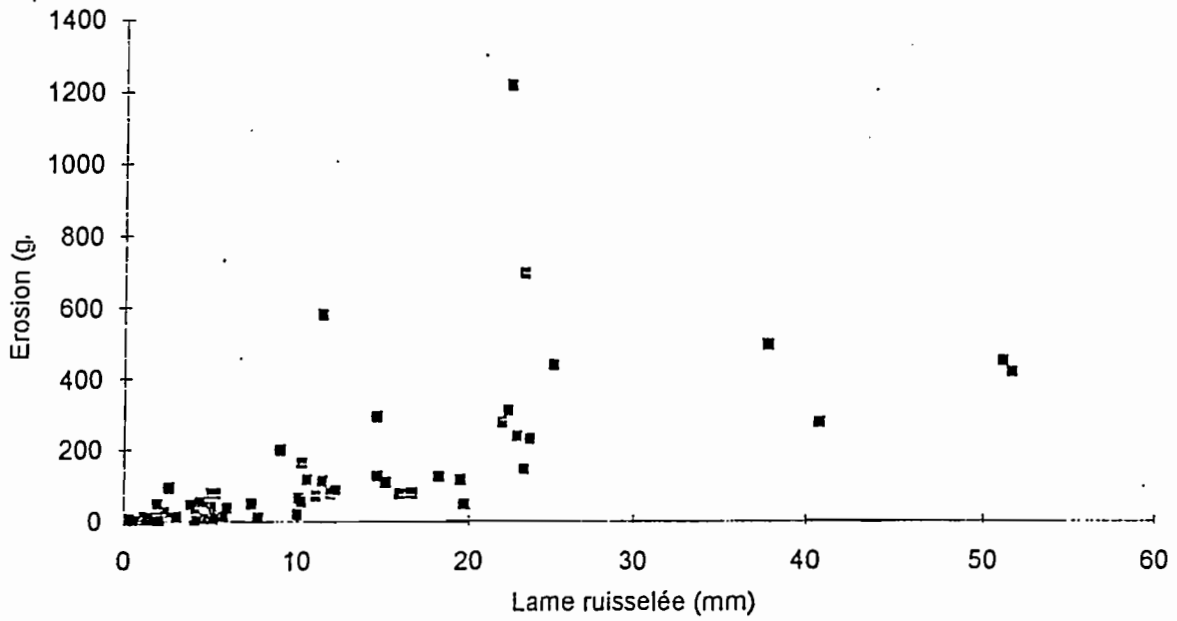


FIGURE 6 : Relation lame ruisselée-érosion

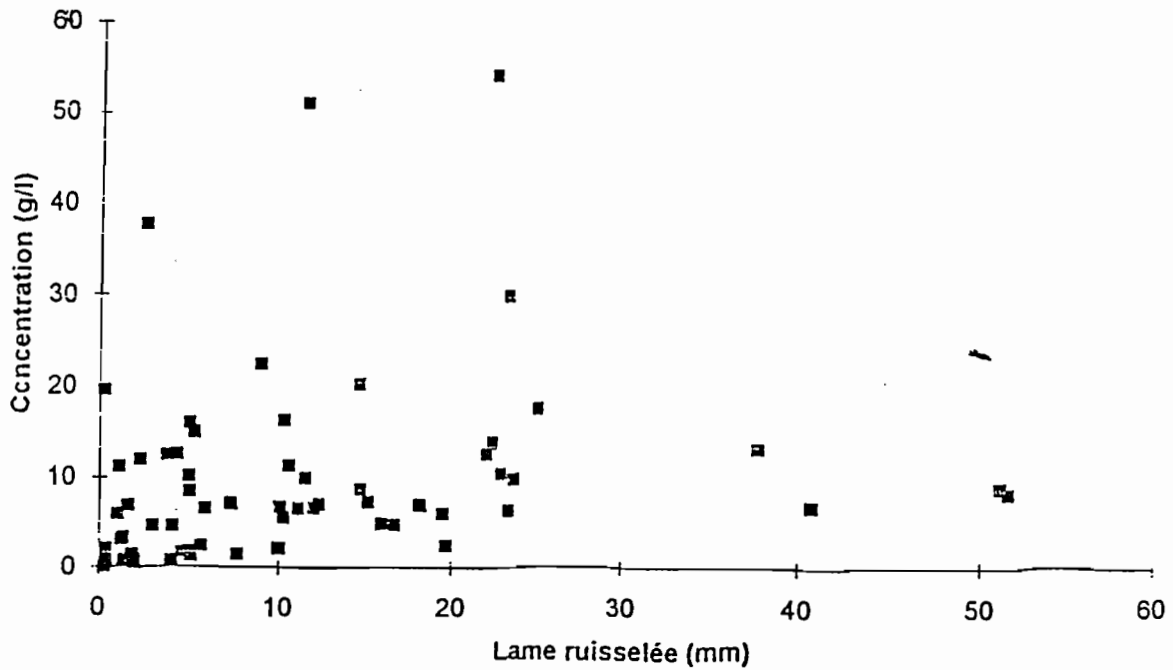


FIGURE 7 : Relation lame ruisselée-concentration

La figure 7 (couple lame ruisselée-concentration) montre que les concentrations moyennes augmentent conjointement avec la lame ruisselée mais tendent à décroître pour des crues résultant d'averses très fortes. La dispersion de certains points sur les figures 6 et 7 provient probablement des effets de l'activité faunique (termites et fourmis) perturbant les horizons superficiels des sols mais résulte surtout de l'état d'humidité des sols (valeurs de IK élevées) et de la succession des pluies.

2.1.6. Influence de la hauteur de pluie sur le ruissellement

La hauteur de la lame ruisselée est strictement fonction de la hauteur de la précipitation (fig. 8). Or l'analyse du tableau I (influence de la hauteur de la pluie sur le ruissellement et l'érosion) a montré que les ruissellements les plus importants ont lieu lorsque le sol est humide et soumis à une succession de pluies. Ainsi, il apparaît que l'importance du ruissellement est fonction non seulement de la hauteur de pluie mais dépend également de l'état d'humectation du sol (fréquence des pluies), de l'intensité des pluies et des états de surface du sol (couvert végétal, organisations pédologiques superficielles).

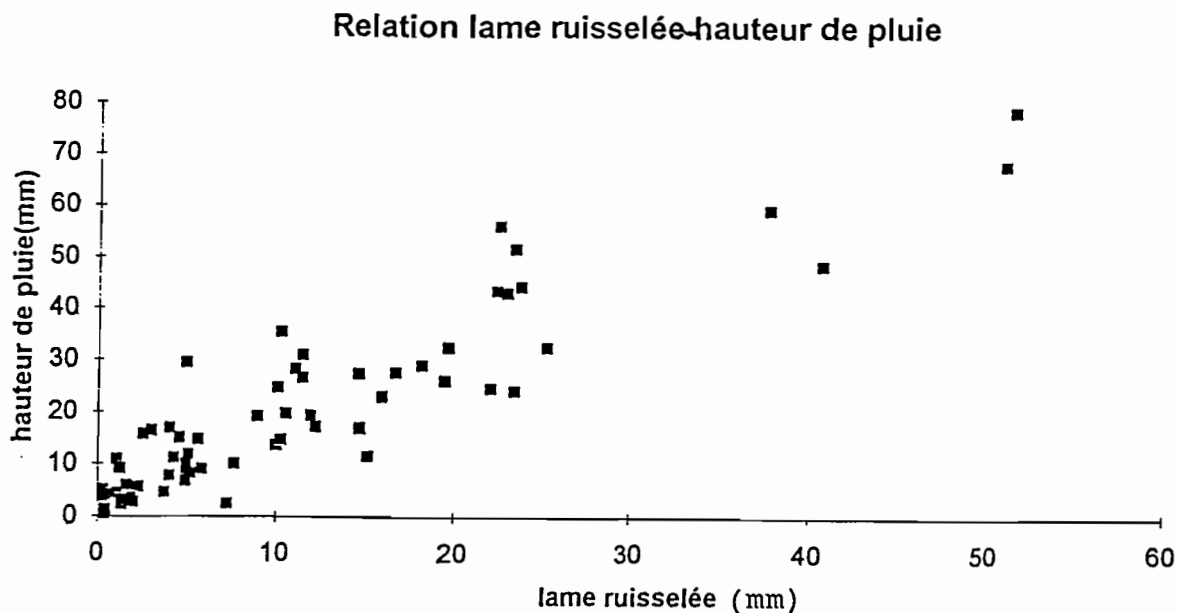


FIGURE 8 : Relation lame ruisselée-hauteur de pluie

2.2. Résultats au niveau de l'exutoire Ngoubagara

Nous avons essayé de schématiser (fig.9) tous les évènements pluvieux enregistrés au cours de l'année ainsi que ceux qui sont partiellement ou totalement analysés (fig.10).

L'exutoire n°1 (cours d'eau Ngoubagara) au niveau duquel des mesures ont été effectuées est l'un des principaux cours d'eau qui draine la ville. La partie du bassin versant dont il recueille les eaux de ruissellement couvre une superficie d'au moins 468 ha (fig. 11). Ce sous bassin versant est soumis à de nombreuses activités humaines telles que l'exploitation des pierres en carrière, les cultures vivrières, etc....

Ainsi, la connaissance des débits liquides et solides au niveau de cet exutoire servira de guide pour la mise en place d'un plan d'assainissement des quartiers de la ville sujets à des inondations fréquentes.

2.2.1. Station du pont de l'hôpital de l'Amitié

Le ruissellement enregistré par le limnigraphe installé au niveau du pont de l'hôpital de l'Amitié provient surtout d'une érosion en rigoles et en ravines de la partie sud-ouest du bassin versant.

Les mesures de la vitesse du ruissellement des eaux à chaque crue, effectuées au moulinet et aux flotteurs, a permis d'évaluer les débits liquides pour chaque hauteur de crue (tableau V) et d'établir la courbe d'étalonnage (fig. 12) de la station.

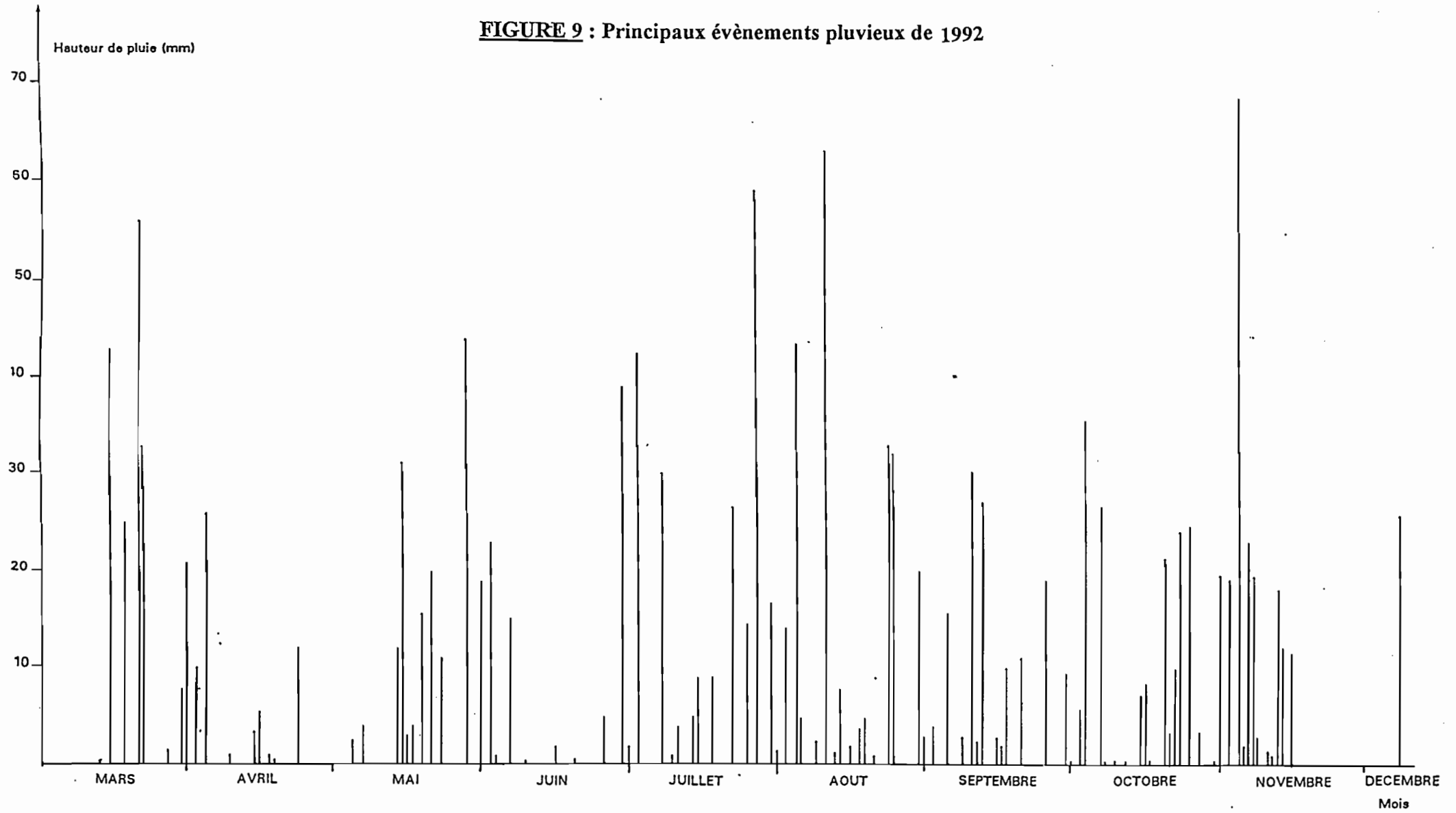
2.2.2. Analyse des évènements pluvieux (forme des crues)

Très variable selon la répartition temporelle des averses (variation des intensités dans le temps), la forme de chaque crue est donnée par l'hydrogramme déduit du limnigramme enregistré à l'exutoire du bassin.

Ainsi, une averse de longue durée avec de grandes variations temporelles d'intensité, engendrera une crue complexe et de durée également longue (OLIVRY et HOORELBECK, 1989-1990). L'examen de chaque crue (hydrogramme et hyétogramme) devient donc nécessaire.

La relation (averse-crue-transport solide) établie pour certains évènements pluvieux permet de constater que le débit solide évolue parallèlement au débit liquide et que, selon l'importance de l'averse et de la crue, les eaux sont plus chargées en matières en suspension à la montée qu'à la descente.

Pour mieux circonscrire le problème, nous examinerons cas par cas, les évènements pluvieux les plus importants de l'année en simulant l'existence, en amont du pont de l'hôpital de l'Amitié, d'un bassin de retenue d'une capacité moyenne d'environ 20.000 m³ avec un débit d'écrêtage d'au moins 6 m³/s (F. LORILLEUX, M. SALEM, 1992).



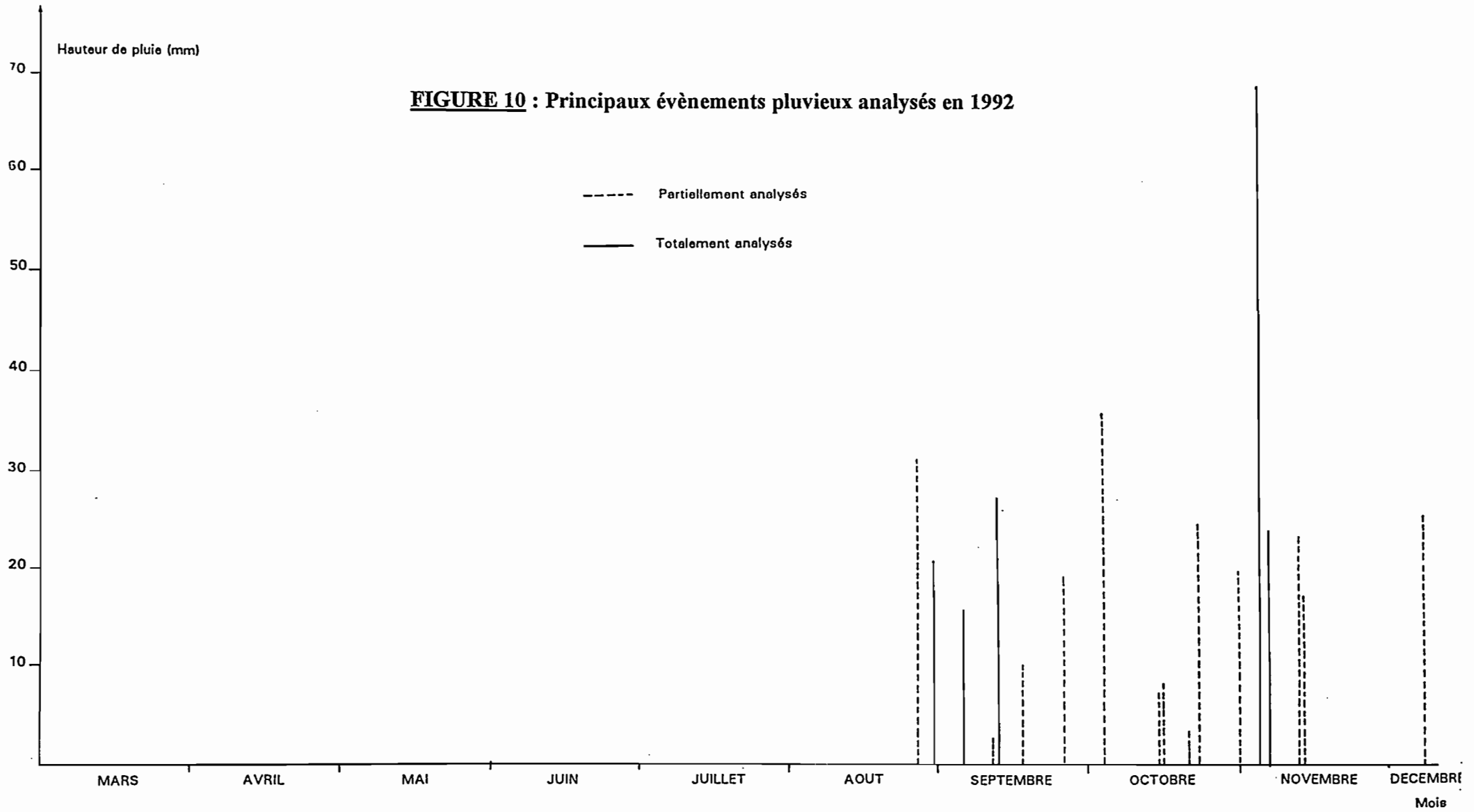
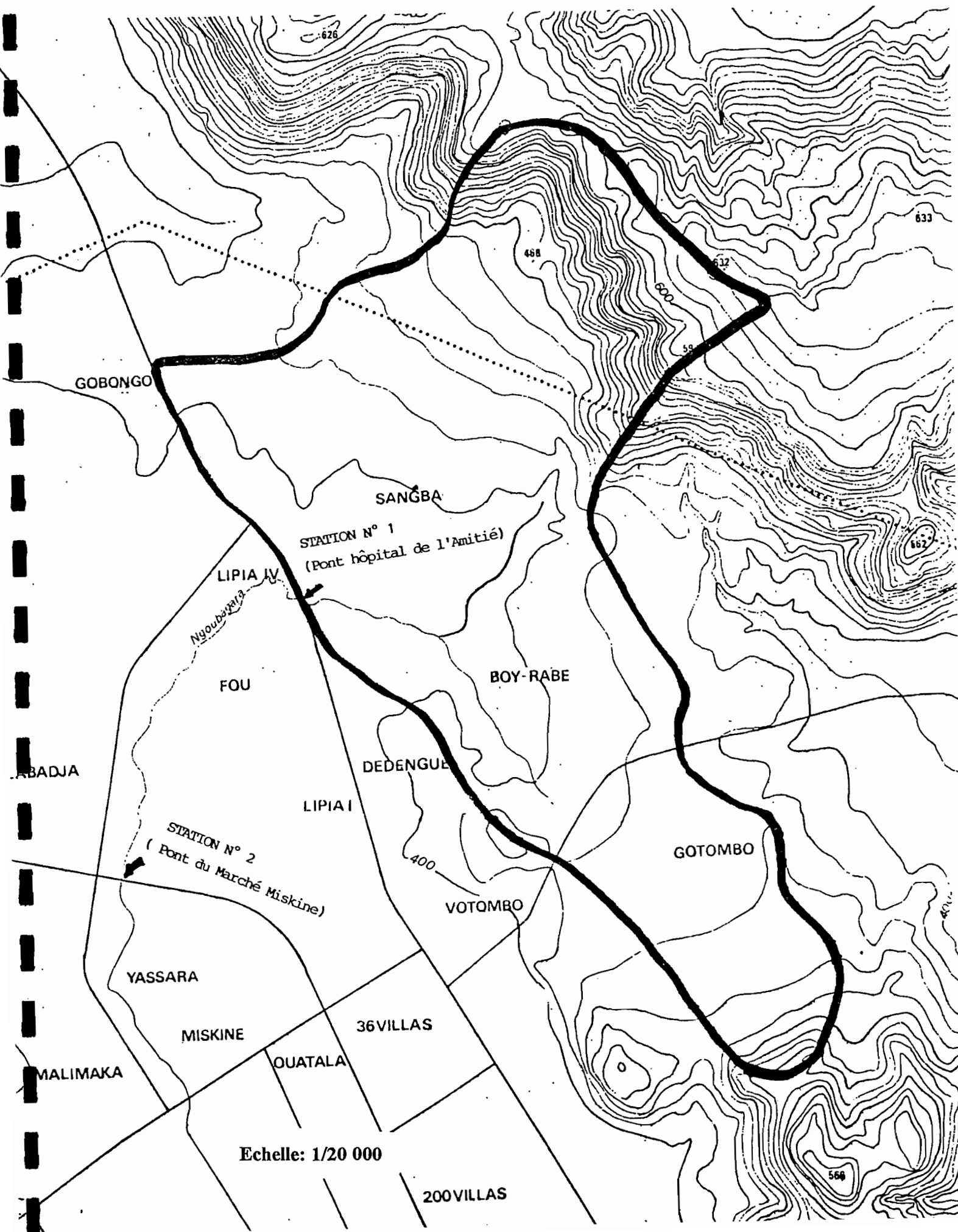


FIGURE 11 : Bassin versant de Ngoubagara au pont de l'hôpital de l'Amitié



cm I	0	1	2	3	4	5	6	7	8	.9 I	cm
0I	.000	.006	.013	.020	.026	.033	.040	.046	.053	.060I	0
10I	.072	.084	.096	.108	.120	.133	.146	.160	.173	.186I	10
20I	.200	.220	.240	.260	.280	.300	.320	.340	.360	.380I	20
30I	.400	.432	.464	.496	.528	.560	.592	.624	.656	.688I	30
40I	.720	.766	.812	.858	.904	.950	.996	1.04	1.09	1.13I	40
50I	1.18	1.24	1.31	1.37	1.44	1.50	1.56	1.63	1.69	1.76I	50
60I	1.82	1.89	1.96	2.03	2.10	2.17	2.24	2.31	2.38	2.45I	60
70I	2.52	2.60	2.69	2.77	2.86	2.94	3.02	3.11	3.19	3.28I	70
80I	3.36	3.45	3.53	3.62	3.70	3.79	3.88	3.96	4.05	4.13I	80
90I	4.22	4.32	4.42	4.51	4.61	4.71	4.81	4.91	5.00	5.10I	90
100I	5.20	5.33	5.46	5.60	5.73	5.86	5.99	6.12	6.26	6.39I	100
110I	6.52	6.66	6.79	6.93	7.06	7.20	7.34	7.47	7.61	7.74I	110
120I	7.88	8.03	8.18	8.32	8.47	8.62	8.77	8.92	9.06	9.21I	120
130I	9.36	9.49	9.63	9.76	9.90	10.0	10.2	10.3	10.4	10.6I	130
140I	10.7	10.9	11.0	11.2	11.3	11.5	11.7	11.8	12.0	12.1I	140
150I	12.3	12.5	12.7	12.8	13.0	13.2	*****	*****	*****	*****I	150

Tableau V : Débits liquides en m^3/s pour chaque hauteur de crue de la rivière Ngoubagara (station de l'hôpital de l'Amitié).

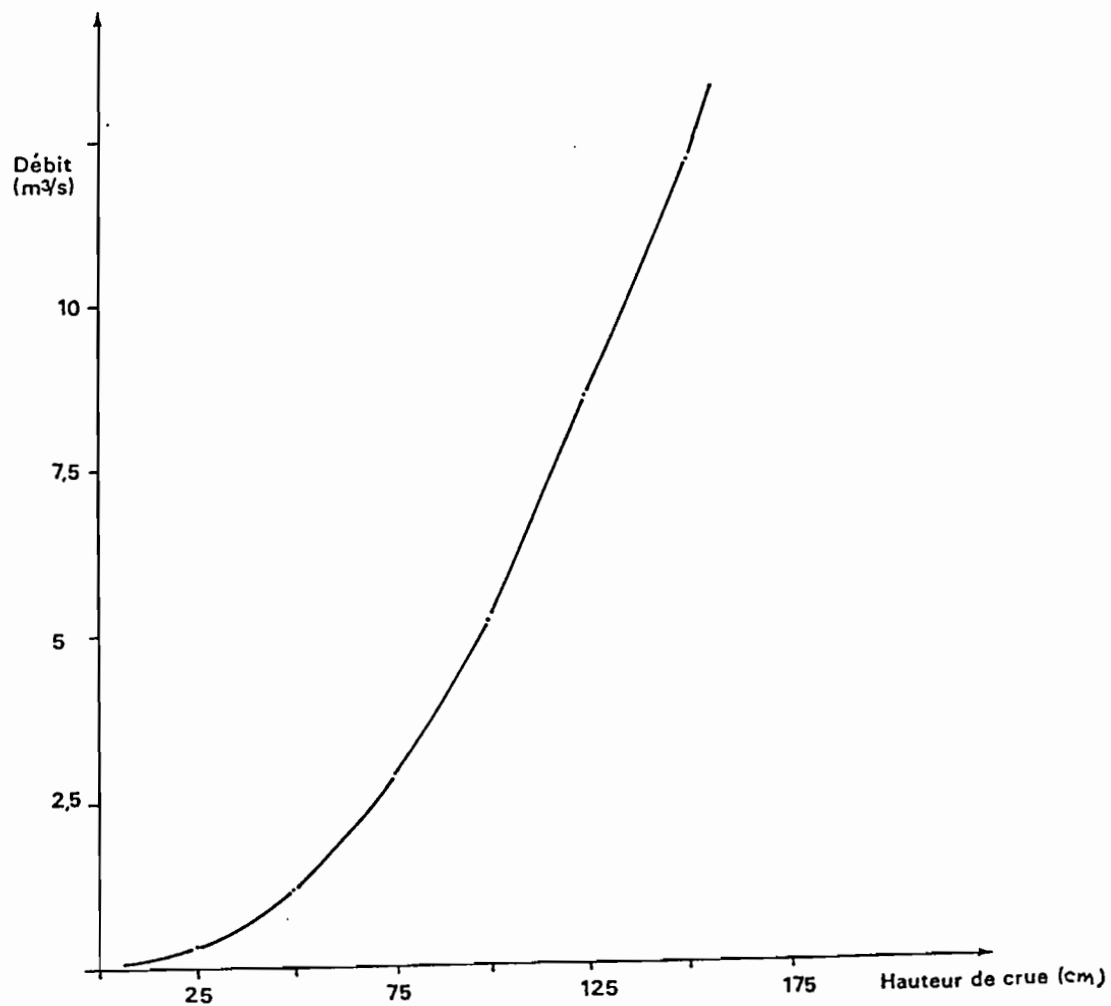


FIGURE 12 : Courbe d'étalonnage de la rivière Ngoubagara
(station pont de l'hôpital de l'Amitié)

La représentation graphique du couple (débit liquide, hauteur de crue) montre que le débit croît avec l'augmentation de la hauteur de crue.

. Evènement pluvieux n°5 : crue du 12/09/92 (fig. 13 tabl.VI)

Cet évènement pluvieux fait suite à celui du 11/09/92. On remarque que sur un volume total de 135.720 m³ d'eau, enregistré au niveau du bassin versant, 57.758 m³ ont ruisselé. Le taux de ruissellement est de 42,5 %. En dehors des transports solides de fond, la quantité totale de matières en suspension (MES) exportées est d'environ 350 tonnes.

L'observation du hyétogramme montre qu'il s'agit d'une importante pluie avec un ruissellement et une production notables de sédiments à l'exutoire.

Comme pour les cas précédents, on note une liaison assez étroite entre l'évolution de l'averse (intensités) et celle des concentrations en MES.

EVENEMENT PLUVIEUX N°5 :Crue du 12/09/92								
RUISSellement			STOCKAGE D'EAU			EROSION		
Temps (mn)	Débit (m3/s)	Volume (m3)	Temps (mn)	Débit retenu (m3/s)	Vol. retenu (m3)	Temps (mn)	Débit (kg/s)	Sédiments (kg)
976.00	0.07	16.32	976.00			970.00	0.01	
978.00	0.20	110.40	978.00			971.00	3.83	432.30
982.00	0.72	97.44	982.00			972.00	10.58	6060.00
984.00	0.90	150.30	984.00			980.00	14.67	52740.00
987.00	0.77	465.48	987.00			990.00	161.13	14748.00
993.00	1.82	376.20	993.00			992.00	84.67	26553.00
996.00	2.36	1360.80	996.00			997.00	92.35	29907.00
1002.00	5.20	601.79	1002.00			1002.00	107.03	40495.50
1003.79	6.00	1752.61	1004.00	0.00	225.60	1007.00	162.94	65805.60
1008.00	7.88	5016.60	1008.00	1.88	1776.60	1015.00	111.25	89775.00
1017.00	10.70	6210.00	1017.00	4.70	2970.00	1033.00	55.00	23647.20
1026.00	12.30	3000.00	1026.00	6.30	1560.00	1041.00	43.53	
1030.00	12.70	1524.00	1030.00	6.70	804.00		Export. MES	350163.60
1032.00	12.70	6318.00	1032.00	6.70	3078.00			
1041.00	10.70	1805.40	1041.00	4.70	725.40			
1044.00	9.36	3054.60	1044.00	3.36	894.60			
1050.00	7.61	3273.18	1050.00	1.61	386.40			
1058.02	6.00	1338.42	1058.00	0.00				
1062.00	5.20	3852.00	1062.00	-0.80				
1077.00	3.36	6060.60	1077.00	-2.64				
1116.00	1.82	2160.00	1099.00	-4.18				
1140.00	1.18	3362.40	1116.00	-4.82				
			1127.65		(fin de vidange)			
1200.00	0.69	2131.20	1140.00					
1260.00	0.50	1504.80	1200.00					
1320.00	0.34	1170.00	1260.00					
1380.00	0.31	1062.00	1320.00					
1440.00	0.28		1380.00					
	Vol. eau ruiss.	57774.54		Vol. d'eau stoc	12420.60			
	Début du stockage d'eau = 1004mn =16h44mn							
	Fin du stockage d'eau = 1058mn = 17h38mn							
	Durée du stockage d'eau = 54mn							
	Volume total d'eau stocké = 12420.60m3							
	Début du vidange du bassin = 1058mn = 17h38mn							
	Fin du vidange du bassin = 1127.65mn =18h48mn							
	Durée du vidange = 69.65mn =1h10mn							

Tableau VI : Bilan du ruissellement et de l'érosion pour l'évènement pluvieux du 12/09/92 (n°5)

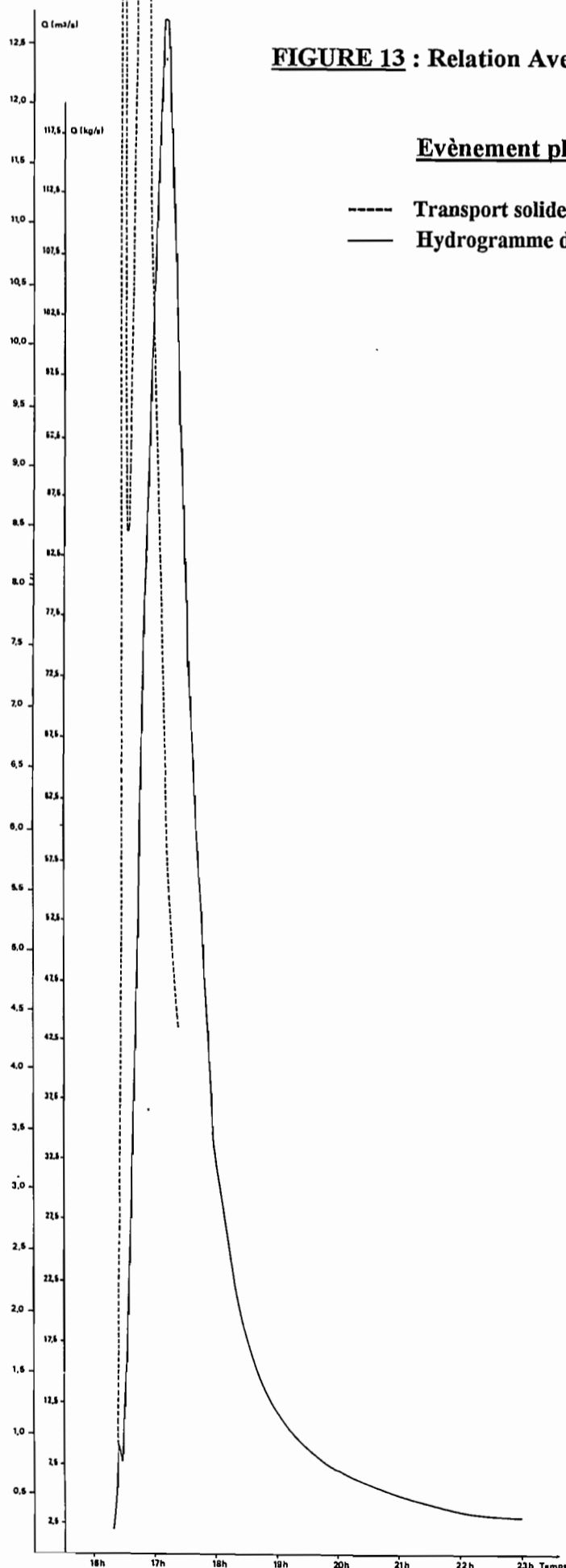
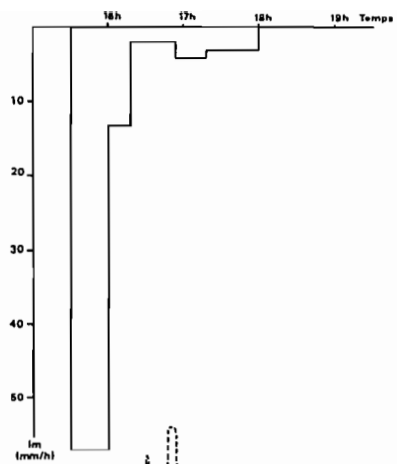


FIGURE 13 : Relation Averse-Crue-Transport solide

Evènement pluvieux n°5 : Crue du 12/09/92

- Transport solide
- Hydrogramme de crue

- . Evènement pluvieux n°6 : Crue du 17/09/92 (fig. 14 et tabl. VII)

L'analyse n'est que partielle (manque de données sur les intensités maximales de la pluie).

Nous constatons à travers les courbes des débits liquides et solides qu'il s'agit d'une pluie très intense et peu étalée dans le temps. La précipitation totale au niveau du bassin versant est évaluée à 60.840 m^3 ; 41,5% ont ruisselé au niveau de l'exutoire.

La sédimentation, par contre est évaluée à 125,7 tonnes. Elle serait beaucoup plus importante si à cela s'ajoutait le transport de fond (graviers et autres).

- . Evènements pluvieux n°14 : crue du 04/11/92 (fig. 15, tabl VIII)

L'évènement pluvieux du 04/11/92 se caractérise par une averse de forte intensité non étalée et soutenue dans le temps avec une production notable de sédiments (311 tonnes).

La pluviosité totale enregistrée au niveau du bassin versant a été évaluée à 22.227 m^3 , les pertes par ruissellement à $55.471,9 \text{ m}^3$, ce qui correspond à un taux de ruissellement de 25%.

- . Evènement pluvieux n° 16 : crue du 12/11/92 (fig. 16 et tabl. IX)

C'est un évènement pluvieux pour lequel nous ne disposons de données ni sur les intensités de l'averse, ni sur le transport solide. Mais l'examen de l'hydrogramme de crue porte à croire qu'il s'agit d'une pluie à fortes intensités non étalées et soutenues dans le temps avec une seule pointe.

Le volume total de la précipitation est de 60.840 m^3 pour lesquels nous avons enregistré un fort taux de ruissellement (71,4 %).

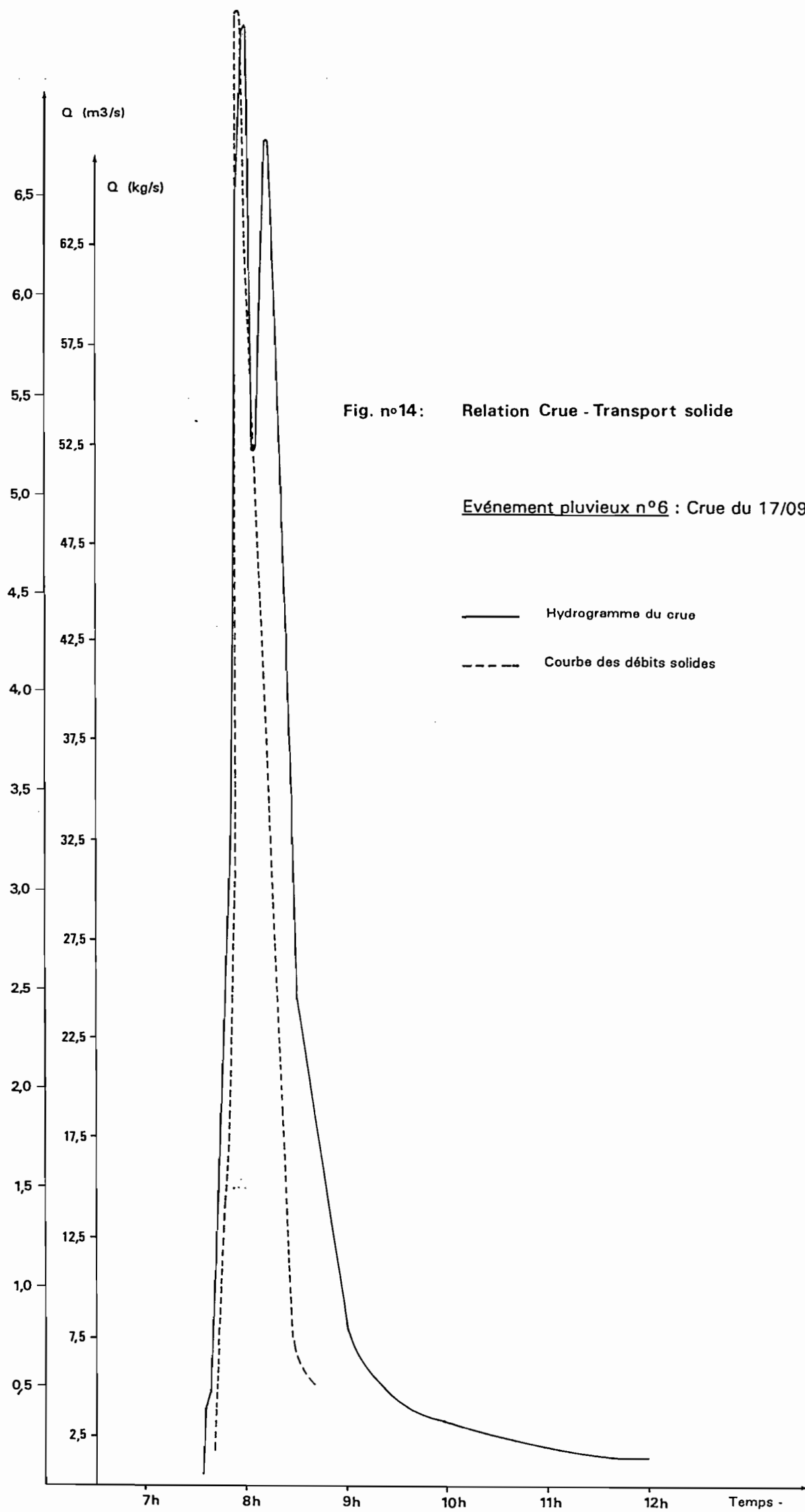


Fig. n°14: Relation Crue - Transport solide

Événement pluvieux n°6 : Crue du 17/09/92

- Hydrogramme du crue
- - - Courbe des débits solides

RUISSELLEMENT			STOCKAGE D'EAU			EROSION		
Temps (mn)	Débit (m3/s)	Volume (m3)	Temps (mn)	Débit stocké (m3/s)	Vol. stocké (m3)	Temps (mn)	Débit (kg/s)	Sédiments (kg)
453.00	0.05	40.77	453.00	-5.95		461.00	0.08	
456.00	0.40	100.80	456.00	-5.60		463.00	1.67	691.20
459.00	0.72	457.20	459.00	-5.28		465.00	9.85	4348.50
465.00	1.82	390.60	465.00	-4.18		470.00	19.14	6118.80
468.00	2.52	352.80	468.00	-3.48		474.00	31.85	3186.60
470.00	3.36	227.40	470.00	-2.64		475.00	74.37	8202.00
471.00	4.22	282.60	471.00	-1.78		477.00	62.33	63024.90
472.00	5.20	703.20	472.00	-0.80		496.00	48.24	10369.50
473.21	6.00	1115.71	473.21	0.00	112.07	501.00	20.89	2126.40
474.00	6.52	831.60	474.00	0.52	111.60	503.00	14.55	10513.80
476.00	7.34	880.80	476.00	1.34	160.80	521.00	4.92	6396.00
478.00	7.34	1663.20	478.00	1.34	223.20	541.00	5.74	10805.40
482.00	6.52	443.89	482.00	0.52	18.44	599.00	0.47	
483.18	6.00	610.91	483.18	0.00		Exportation en MES =		125783.10
485.00	5.20	845.28	485.00	-0.80				
487.52	6.00	953.22	487.52	0.00	58.88			
490.00	6.79	1222.20	490.00	0.79	142.20			
493.00	6.79	1429.83	493.00	0.79	78.00			
496.73	6.00	448.17	496.73	0.00				
498.00	5.73	1791.00	498.00	-0.27				
504.00	4.22	682.20	504.00	-1.78				
507.00	3.36	529.20	507.00	-2.64				
			507.18	(Fin du vidange)				
510.00	2.52	2664.00	510.00					
534.00	1.18	513.00	534.00					
543.00	0.72	1075.20	543.00					
575.00	0.40	540.00	575.00					
600.00	0.32	936.00	600.00					
660.00	0.20	622.80	660.00					
720.00	0.15	478.80	720.00					
780.00	0.12	410.40	780.00					
840.00	0.11	734.40	840.00					
960.00	0.10		960.00					
Volume total ruisselé =		23977.18	Volume total stocké =		800.48			
	Début du 1° stockage d'eau = 473.21mn = 7h53mn							
	Fin du 1° stockage d'eau = 483.18mn = 8h03mn							
	Durée du 1° stockage d'eau = 10mn							
	Volume d'eau stocké = 625.9m3							
	Début du 1° vidange du bassin = 483.18mn = 8h03mn							
	Fin du 1° vidange du bassin = 487.52mn = 8h08mn							
	Durée du 1° vidange = 4.34mn							
	Volume d'eau vidangé = 104.52m3							
	Début du 2° stockage d'eau = 487.52mn = 8h08mn							
	Fin du 2° stockage d'eau = 496.73mn = 8h17mn							
	Durée du 2° stockage d'eau = 9mn							
	Volume d'eau stocké = 279.10m3							
	Début du 2° vidange du bassin = 496.73mn = 8h17mn							
	Fin du 2° vidange du bassin = 507.18mn = 8h27mn							
	Durée du 2° vidange = 11mn							
	Volume d'eau vidangé = 1317.60m3							

Tableau VII : Bilan du ruissellement et de l'érosion pour l'événement pluvieux du 17/11/92 (n°6).

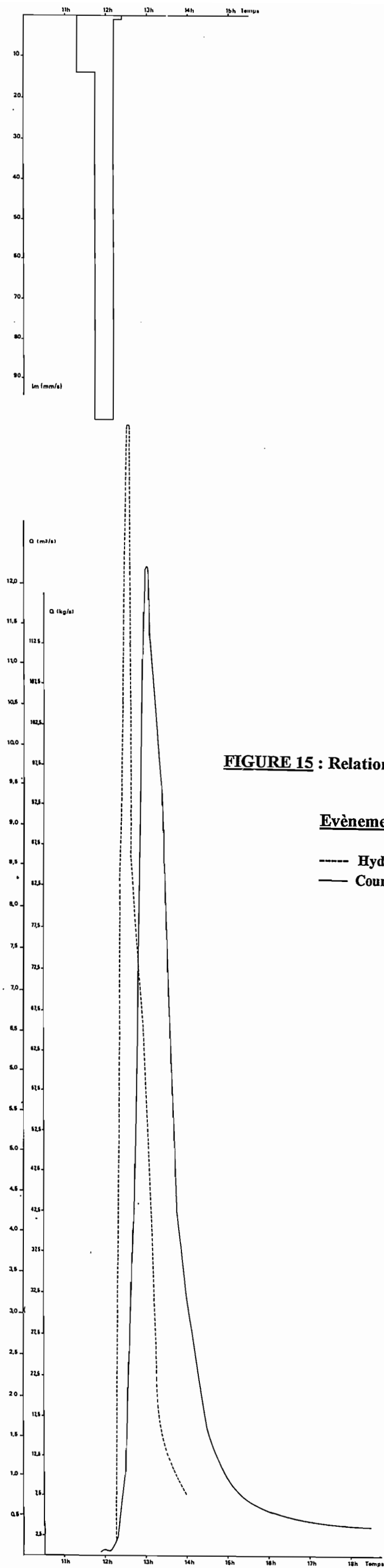


FIGURE 15 : Relation Averse-Crue-Transport solide

Evènement pluvieux n°14 : Crue du 04/11/92

- Hydrogramme de crue
- Courbe de transport solide

RUISSÈLEMENT			STOCKAGE D'EAU			EROSION		
Temps	Débit	Volume	Temps	Débit retenu	Vol. retenu	Temps	Débit	Sédiments
714.00	0.03	13.14	714.00			689.00	0.01	
720.00	0.04	13.14	720.00			721.00	1.41	1795.50
726.00	0.03	98.28	726.00			728.00	7.14	8059.20
738.00	0.24	460.80	738.00			736.00	26.44	4042.80
750.00	1.04	315.60	750.00			738.00	40.94	3366.00
752.00	4.22	3796.51	752.00			739.00	71.26	9235.80
764.38	6.00	1358.69	752.00	0.00	249.60	741.00	82.67	15681.60
768.00	6.52	3103.20	768.00	0.52	943.20	744.00	91.57	18113.40
774.00	10.72	4305.60	774.00	4.72	2145.60	747.00	109.69	43968.60
780.00	13.20	4590.00	780.00	7.20	2430.00	753.00	134.58	26509.20
786.00	12.30	4143.60	786.00	6.30	1983.60	757.00	86.33	96333.30
792.00	10.72	7228.80	792.00	4.72	2908.80	778.00	66.58	34706.10
804.00	9.36	3103.20	804.00	3.36	943.20	789.00	38.59	16929.00
810.00	7.88	3208.33	810.00	1.88	434.56	799.00	17.84	7316.40
817.70	6.00	2236.67	817.70	0.00		806.00	17.00	24990.00
825.00	4.22	3334.50	825.00	-1.78		840.00	7.50	
840.00	3.19	4509.00	840.00	-2.81		Exportation en MES =		311046.90
870.00	1.82	2493.00	870.00	-4.18				
			881.89		(Fin de vidange)			
900.00	0.95	1476.00	900.00	-5.05				
930.00	0.69	1125.00	930.00	-5.31				
960.00	0.56	1782.00	960.00	-5.44				
1020.00	0.43	1458.00	1020.00	-5.57				
1080.00	0.38	1332.00	1080.00	-5.62				
1140.00	0.36		1140.00	-5.64				
Volume d'eau ruisselé=		55485.06	Volume d'eau stocké =		12038.56			
Début du stockage d'eau = 752mn = 12h32mn								
Fin du stockage d'eau = 817.70mn = 13h38mn								
Durée du stockage d'eau = 66mn = 1h06mn								
Volume total d'eau stocké = 12038.56m3								
Début du vidange du bassin = 817.70mn = 13h38mn								
Fin du vidange du bassin = 881.89mn = 14h42mn								
Durée du vidange = 64mn = 1h04mn								

Tableau VIII : Bilan du ruissellement et de l'érosion
(crue du 04/11/92)

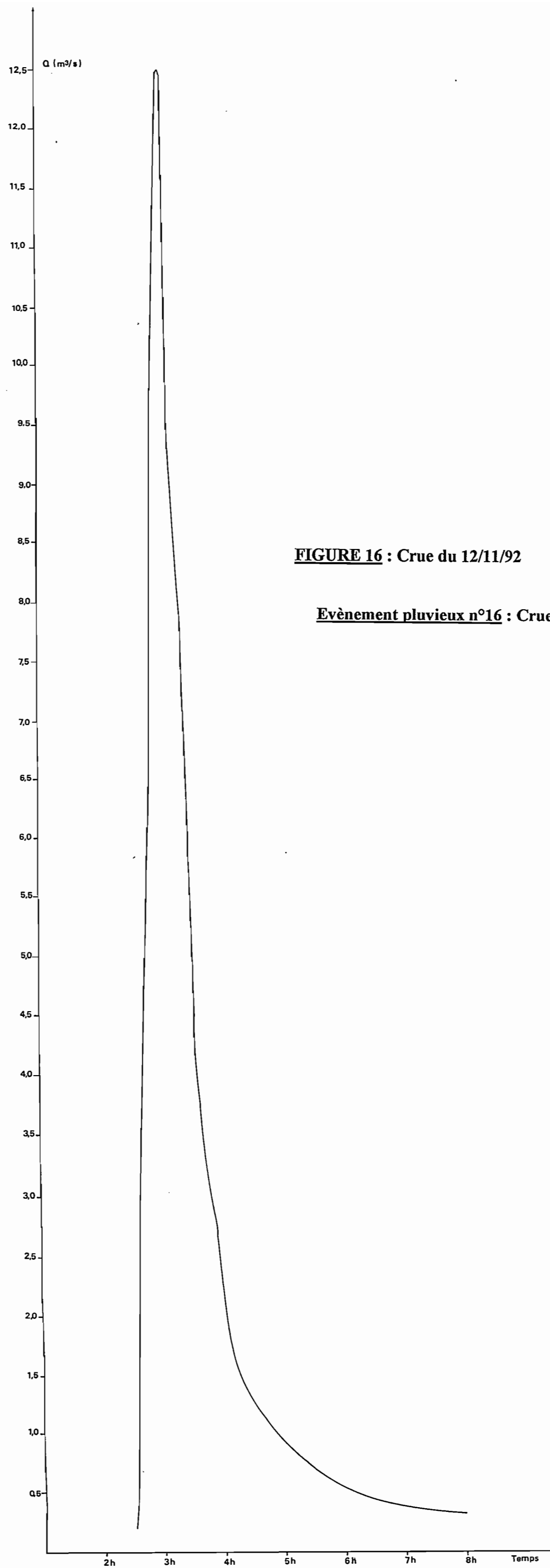


FIGURE 16 : Crue du 12/11/92

Evènement pluvieux n°16 : Crue du 12/11/92

CONCLUSION

L'étude réalisée sur l'érosion et la dégradation des collines de Bangui permet de dégager les conclusions suivantes :

- Au niveau des parcelles expérimentales :

.le ruissellement et l'érosion les plus élevés au niveau des collines ont lieu lorsque le sol est humide (les valeurs de l'indice de précipitation antérieure (IK) sont élevées) et soumis à une succession de pluies.

.les pluies caractérisées par une intensité instantanée maximum inférieure à 3 mm/h sont rarement érosives. Le ruissellement et l'érosion ne se produisent que lorsqu'il y a une succession de pluies ; par contre, ils se déclenchent toujours lorsque la pluie atteint et dépasse 12 mm/h.

.le tonnage global de matières solides exportées est très élevé en sol nu ($8590 \text{ g/m}^2/\text{an}$), ce qui correspondrait à environ 86 t/ha/an. La perte annuelle en terre en sol couvert est faible (environ $221 \text{ g/m}^2/\text{an}$ soit 2,2 t/ha/an), ce qui met en évidence le rôle protecteur du couvert végétal au niveau des collines.

.l'analyse chimique des eaux de ruissellement recueillies révèle une forte migration des cations métalliques en sols nus.

.l'analyse bivariée des couples (lame ruisselée-érosion et lame ruisselée-concentration) montre que l'érosion est bien fonction du ruissellement.

- Au niveau du bassin de Ngoubagara :

. l'observation des relations averse-crue-transport solide montre, d'une part, que la forme de la crue est dépendante de l'importance de l'averse et que, d'autre part, les eaux ruisselées sont beaucoup plus chargées à la montée de la crue qu'à la descente.

.l'analyse des différents événements pluvieux montre que le coefficient de ruissellement est partout très élevé (en moyenne 40%) ; presque la moitié des précipitations ruisselle. Le transport solide en dehors du charriage ou transport de fond est également très important, ce qui explique le comblement rapide des fossés en aval.

.le projet de création d'un bassin de retenue en amont du pont de l'hôpital de l'Amitié pour écrêter les débits de pointe (F. LORILLEUX et M. SALEM, 1992) apparaît comme une solution à risque et probablement pas suffisante.

* Pour chaque événement pluvieux entraînant un ruissellement supérieur à $6 \text{ m}^3/\text{s}$ au niveau du pont de l'hôpital de l'Amitié, on constate que le remplissage du bassin est très rapide (moins de 30 minutes) ; toute la zone devra donc être inhabitée.

* Etant donné le fort pourcentage de ruissellement calculé au niveau du bassin versant et prévisible au niveau de la ville d'une part, et la faible capacité du lac de retenue d'autre part, la création d'un barrage ne sera probablement pas une solution suffisante pour écrêter les forts débits de pointe au niveau de la ville.

Il sera intéressant d'établir la relation débit d'écoulement au niveau du pont de l'Amitié et du pont de Miskine pour apprécier le ruissellement urbain.

* Etant donné les débits solides élevés, un aménagement particulier du lac devra être prévu pour éviter son colmatage rapide. Le bassin versant de la Ngoubagara est le domaine le plus exploité en carrière de pierre et, de ce fait, la réussite de toute entreprise d'aménagement en aval demeure strictement liée à sa protection en amont (fermeture des carrières de pierre, reboisement, etc...).

Il convient de rappeler que les résultats obtenus aussi bien sur les parcelles expérimentales qu'au niveau de l'exutoire de la Ngoubagara et leur interprétation revêtent encore un caractère préliminaire. Si les résultats relatifs aux relations érosion-ruissellement et averse sont satisfaisants, ils devront être confirmés par les prochaines études.

Toutefois, une extrapolation des résultats à l'ensemble des collines peut apporter quelques éléments de réflexion sur l'ampleur des problèmes qui vont se poser en matière d'assainissement de la ville si les activités anthropiques continuent à se développer au rythme actuel sur le flanc de la colline tourné vers la ville.

Depuis la zone du pk 12 jusqu'au niveau du lycée technique, tout le flanc occidental est le lieu de développement d'activités humaines (cultures et exploitation de pierres, récupération de bois de chauffe). On peut donc admettre que les processus d'érosion et de dégradation se manifestent avec la même intensité sur toute la zone, soit 1350 hectares.

Ainsi, pour une pluie de 29 mm, pluie très moyenne, correspondant à l'événement pluvieux n°5 du 12/08/92, pour lequel le coefficient de ruissellement a été de 42,5% et la concentration moyenne en matières solides des eaux ruisselées de 6,02 g/l, la quantité d'eau provenant de la colline et ruisselant vers la ville est de l'ordre de 170 000 m³ et la quantité de matières solides de plus de 1000 tonnes.

Dans ce calcul, il n'est pas tenu compte du charriage, ni de la pluviosité et des apports en zone urbaine.

Cette approximation montre l'urgence de mesures pour freiner, voire stopper les activités anthropiques au niveau de la colline et la nécessité d'un réseau de drainage efficace pour évacuer au maximum les matières contenues dans les eaux de ruissellement.

En absence de réseau de drainage, les 1000 tonnes de matériaux provenant de l'érosion de la colline entraîneraient un épandage de 400 m³ de colluvions sur la ville.

Planning prévisionnel des mesures et relevés envisagés au cours des deux prochaines saisons des pluies (1993 et 1994).

En complément des sites actuels de mesures, nous envisageons sur le site ORSTOM, d'ouvrir deux nouvelles mini-parcelles (une cultivée, une en jachère) longues de 10 m, larges de 5 m, chacune équipée d'une cuve à partiteur. Un micro-bassin de ravine, cultivé de quelques hectares, équipé d'un limnigraphe est également à installer. Parallèlement à ces travaux, nous comptons installer une ou deux parcelles témoins (parcelles de référence) en forêt. Toutes ces réalisations en de grandes surfaces nous permettront d'obtenir des résultats extrapolables à l'ensemble des collines.

Le bassin versant de Ngoubagara (pont de l'Amitié) continuera à bénéficier des travaux de jaugeage et de mesures de débit solide.

Au niveau de la ville de Bangui, deux ou trois parcelles d'un m² vont être installées (surface de cour, surface enherbée,...) en vue d'évaluer les apports urbains en matière de ruissellement et d'érosion.

Pour mieux cerner les problèmes de l'érosion urbaine, nous effectuerons les jaugeages et les prélèvements des eaux de ruissellement au niveau du pont du marché de Miskine.

BIBLIOGRAPHIE

BOULVERT Y. (1989) - Bangui (1889 -1989) - Un siècle de croissance de la ville à partir des cartes, plans, photo-aériennes, images satellites, Ministère de la Coopération à Paris 14 p.

BOURRIER R. (1991) - Les réseaux d'assainissement. Calculs-Applications-Perspectives. Lavoisier TEC et DOX 533 p.

DE NONI G., VIENNOT M, TRUJILLO G, (1989-1990) - Mesure de l'érosion dans les Andes de l'Equateur. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., Vol. XXV n°1-2, pp. 183-196.

KOKAMY-YAMBERE S., (1992) - Etude préliminaire de l'érosion et de la dégradation des collines de Bangui. Laboratoire de Géologie et d'Hydrologie ORSTOM - Bangui, 31 p.

LORILLEUX F, SALEM M, (1992) - Campagne de mesures préalables à l'aménagement d'un bassin de retenue sur La Kouanga BCEOM, Paris, 3 p.

OLIVRY J.C., HOORELBECK J., (1989-1990) - Erodabilité des terres noires de la Vallée de Buech. (France, Alpes du Sud) Cah. ORSTOM. Sér. pédol. vol. XXV n°1-2, pp. 95-110.

ROOSE E., (1977) - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest. ORSTOM-Paris, 108 p.

THEBE B., (1987) - Hydrodynamique de quelques sols du Nord Cameroun. Bassin versant de Mouda. Contribution à l'étude de transfert d'échelle. Université des Sciences et Techniques du languedoc, Montpellier, 306 p.

VALENTIN C., CASENAVE A., (1992) - A runoff Capability classification system bases on surface features crieteria in semi-arid aread of West Africa. Journal of hydrology, 130 (1992) 213-249 Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.

LISTE DES FIGURES, TABLEAUX ET PHOTOGRAPHIES

- Figure 1** - Bloc diagramme des collines de Bangui
- Figure 2** - Coupe géomorphologique de la région de Bangui.
- Figure 3** - Localisation des sites d'étude de l'érosion des collines de Bangui.
- Figure 4** - Dispositifs expérimentaux au niveau des mini-parcelles.
- Figure 5** - Evolution des concentrations moyennes des eaux de ruissellement en matières solides (1992).
- Figure 6** - Relation lame ruisselée-érosion.
- Figure 7** - Relation lame ruisselée-concentration.
- Figure 8** - Relation lame ruisselée-hauteur de pluie.
- Figure 9** - Principaux évènements pluvieux de 1992.
- Figure 10** - principaux évènements pluvieux analysés en 1992.
- Figure 11** - Bassin versant de la Ngoubagara au pont de l'hôpital de l'Amitié.
- Figure 12** - Courbe d'étalonnage de la rivière Ngoubagara (station pont de l'hôpital de l'Amitié).
- Figure 13** - Relation averse-crue-transport solide-évènement pluvieux.
- Figure 14** - Relation crue-transport solide-évènement pluvieux n° 6 (17/09/92).
- Figure 15** - Relation averse-crue-transport solide-évènement pluvieux n° 14 (04/11/92).
- Figure 16** - Crue du 12/11/92 (évènement pluvieux n° 16).

- Tableau I** : Influence de la pluie sur le ruissellement et l'érosion
- Tableau II** : Répartition des pluies et des pluies érosives en fonction des intensités instantanées maximum au niveau des collines de Bangui (sol nu n°1).
- Tableau III** : Bilan mensuel des pertes en terre en 1992.
- Tableau IV** : Résultats analytiques des eaux de ruissellement des collines de Bangui (mois d'Août 1992).
- Tableau V** : Débits liquides en m³/s pour chaque hauteur de crue de la rivière Ngoubagara (station de l'hôpital de l'Amitié).
- Tableau VI** : Bilan du ruissellement et de l'érosion pour l'évènement pluvieux du 12/09/92 (n°5).
- Tableau VII** : Bilan du ruissellement et de l'érosion pour l'évènement pluvieux du 17/09/92 (n°6).
- Tableau VIII** : Bilan du ruissellement et de l'érosion pour l'évènement pluvieux du 04/11/92 (n° 14).
- Tableau IX** : Bilan du ruissellement et de l'érosion pour l'évènement pluvieux du 12/11/92 (n° 16).
-
- Photo 1** Parcelle nue n°1
- Photo 2** Parcelle nue n° 2
- Photo 3** Parcelle couverte n° 1
- Photo 4** Parcelle couverte n° 2
- Photo 5** Cuve réceptrice des eaux de ruissellement de la parcelle, surmontée d'un limnigraphe.
- Photo 6** Pont de l'hôpital de l'Amitié.
- Photo 7** Pont du marché de Miskine