

Communication aux XIXèmes Journées de l'hydraulique
Organisées par la SOCIÉTÉ HYDROTECHNIQUE DE FRANCE

PARIS - Septembre 1986

L' AUGMENTATION DU RUISSELLEMENT APRES
DEFRICHEMENT MECANISE DE LA FORET
AMAZONIENNE

Les bassins-versants 'ECEREX' en Guyane française

Jean-Marie FRITSCH
Charge de recherche de l'ORSTOM
B.P. 165 , 97323 CAYENNE-Cedex

=====

Résumé :

On observe les effets du défrichement mécanisé de la forêt primaire sur le ruissellement de 6 petits bassins-versants. Grâce aux résultats recueillis dans le même temps sur 2 bassins-témoins, on met en évidence que le ruissellement sur sol nu a augmenté dans des proportions de 1,5 à 3,3 selon le type de sols.

Mots-clés : bassin expérimental, bassin témoin, ruissellement, interception, forêt primaire, déforestation, écosystème amazonien, Guyane Française.

Abstract :

The topic is about changes of runoff after mechanized clear-cutting of the amazonian forest on 6 small experimental watersheds. The data collected during the same time at the outputs of 2 undisturbed catchments demonstrated that quick flows increased on bare soil from 1.5 to 3.3, depending on previous hydrodynamic characteristics of the soils. Water productivity function of individual storms is 1.3 to 2.2 times greater, while the number of individual flows raised up from 1.3 to 2.7 times over those of natural conditions.

Keywords : experimental watersheds, paired watersheds, quick flow, humid tropical forest, mechanized deforestation, amazonian ecosystem, French Guiana.

1. INTRODUCTION

Dans le cadre d'un vaste projet multidisciplinaire consacré à l'étude de l'écosystème forestier amazonien en Guyane française, (J.M. SARRAILH - 1984), des observations ont été entreprises dans cette région par les hydrologues de l'ORSTOM, sur des bassins-versants expérimentaux à partir de 1977.

Parmi les objectifs finalisés du programme, figuraient l'appréciation des impacts sur les écoulements et l'érosion consécutifs à un défrichement de type papetier, prévisible sur de grandes surfaces, dans le contexte économique de l'époque. Il était également décidé de poursuivre l'étude de ces mêmes paramètres,

pendant le recru naturel postérieur à la déforestation et après l'implantation d'aménagements agro-sylvo-pastoraux réputés vraisemblables selon les plans de développement économique de la région.

La chronologie des manipulations sur les bassins-versants et de leur suivi hydrologique fait l'objet de la figure 1. Dix petits bassins (notés de A à J) ont été progressivement mis en service entre janvier 1977 et décembre 1978. Le protocole prévoyait le maintien de deux bassins-versants, en forêt naturelle, utilisés comme témoin (B et F), tandis que les 8 unités restantes seraient défrichées mécaniquement au terme d'une période d'étalonnage en milieu naturel comportant au moins deux saisons des

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 23.188

Cote : B

1 30/07/1986

pg

pluies. Certains aménagements auraient un caractère purement forestier : plantations de pins caraïbes (G), plantation d'eucalyptus (H), reconstitution naturelle de la forêt après débardage et défrichement au tracteur à chenilles (D) ou après débardage au tracteur à pneus (E). Deux spéculations étaient d'ordre pastoral : pâturage brouté à *Digitaria Swazilandensis* (A) et pâturage fauché à *Bracharia Decumbens* (J). Un bassin a été traité en verger de pamplemousses (C) et la dernière unité (I) a été vouée à la culture traditionnelle sur brûlis après défrichement manuel, pour apprécier à titre comparatif l'impact minimum du déforestation.

A l'exclusion de l'abbatis traditionnel et du bassin débardé sans défrichement ultérieur, et compte-tenu des délais de mise en place de l'aménagement, 6 bassins-versants ont présenté pendant plusieurs mois un sol nu ou faiblement colonisé par la repousse forestière spontanée, ce qui constitue une situation particulièrement digne d'intérêt pour l'hydrologue, et pendant laquelle on envisage de quantifier les modifications des écoulements superficiels entre forêt naturelle et sol nu.

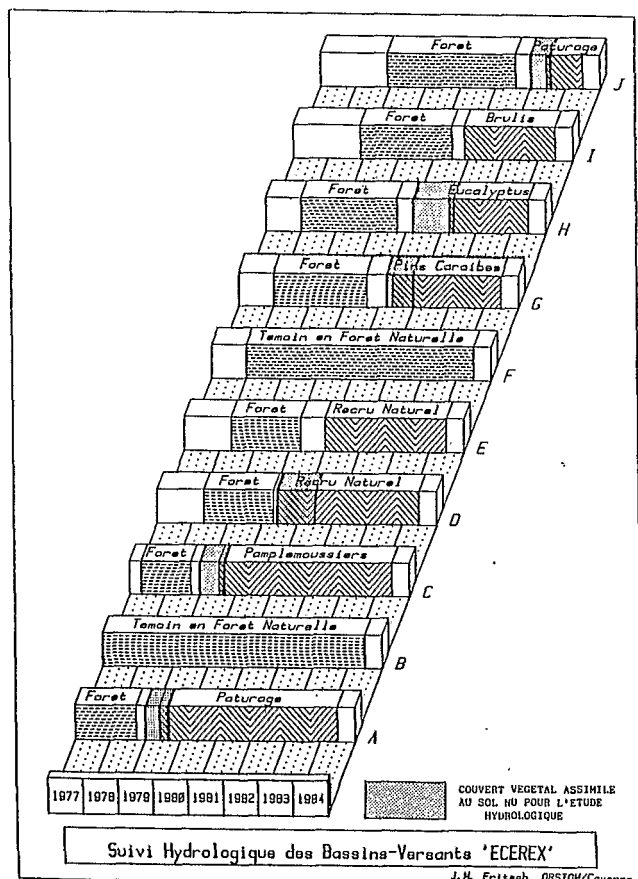


Figure 1 : Chronologie des manipulations sur les bassins-versants et occurrence des phases en sol nu

2. L'ÉCOULEMENT SOUS FORÊT PRIMAIRE

Après un an d'observation en moyenne par bassin, l'analyse des écoulements en milieu naturel a montré une très grande variabilité entre bassins-versants (M.A. ROCHE - 1982).

Alors que l'ensemble du dispositif est concentré sur moins de 5 km et soumis à des conditions pluviométriques quasi-identiques, que les surfaces drainées sont très voisines (1 à 1.6 hectares), que les pentes sont du même ordre de grandeur (20 à 30%), que le substratum géologique est homogène (formation d'altération du schiste de Bonidoro), et que la forêt primaire occupe l'espace d'une manière indifférenciée, on constate que les écoulements de surface en milieu naturel ont varié de 11% à 57% selon les bassins en 1979 (tableau I), soit un rapport de 1 à 5. (les chiffres d'écoulement sous forêt pour les bassins A et C déjà défrichés cette année-là, sont reconstitués par les données du bassin témoin).

Cette dispersion est parfaitement en accord avec les conclusions de l'étude des fonctionnements des systèmes pédologiques reconnus et cartographiés sur les bassins. (R. BOULET - 1983). Selon leurs comportements hydrodynamiques, on peut sommairement identifier 3 unités pédologiques bien différenciées :

a) des sols dits 'à drainage libre' dans lesquels la dynamique de l'eau est essentiellement verticale et profonde. Ces sols sont très peu favorables au ruissellement et il faut des périodes très pluvieuses pour y constater des écoulements superficiels notables : Le bassin C, avec un coefficient de ruissellement de 6% en 1979, est composé à 100% de sols à drainage libre.

b) des sols dits 'à drainage bloqué', car l'infiltration est bloquée à quelques centimètres de profondeur par un horizon compact. A la faveur d'une macro-porosité très forte des horizons supérieurs, des écoulements superficiels rapides et soutenus confèrent à ces unités une restitution globale au talweg très importante dans les quelques heures après la pluie. Les ruissellements sont toujours importants, même dans des conditions initiales de saturation médiocres. Le bassin A, ($K_e = 20\%$), constitue une référence pour ce type pédologique. (100% de sols à drainage bloqué).

c) des zones situées dans les fonds les plus à aval du bassin-versant, où se développe une nappe affleurante en saison des pluies. Les fondations du déversoir interceptent fréquemment le niveau phréatique, d'où l'existence d'un écoulement quasi-permanent sur ces bassins lorsque l'extension du système de nappe est suffisant. (Bassins G et H).

Ces zones hydromorphes de bas-fond qui se

	C	D	B	A	J	G	F	H
Surface (ha)	1.6	1.4	1.6	1.3	1.4	1.5	1.4	1.0
Pente des versants (%)	17-20	28-18	17-17	20-20	32-29	26-34	35-31	19-24
Surfaces à drainage libre (%)	100	60	10	0	2	0	0	0
Surfaces à drainage bloqué (%)	0	40	90	100	98	90	96	86
Zones de nappes (%)	-	-	-	-	-	10	4	14
Pluie annuelle (mm)	3526	3197	3286	3430	3229	3187	3141	3288
Lame écoulée (mm)	372*	533	668	690*	996	1551	1617	1833
Coefficient d'écoulement (%)	10.6	16.7	20.3	20.1	30.8	48.7	51.5	56.8
Lame ruisselée (mm)	212*	506	565	597*	948	967	1079	1143
Coefficient de ruissellement (%)	6.0	15.8	17.2	17.4	29.4	30.3	34.3	35.4

TABLEAU 1 : Caractéristiques physiques et pédologiques des bassins-versants. Pluviométrie, écoulement et ruissellement sous forêt naturelle en 1979.

comportent en impluviums pratiquement imperméables, associées à des sols à drainage bloqué sur les versants, composant des bassins sur lesquels les coefficients d'écoulement et de ruissellement sont impressionnants ; par exemple, respectivement 57% et 35% à l'échelle annuelle sur le bassin H.

En consultant les lignes 3 à 5 du tableau I, on constatera que le classement des bassins-versants par coefficients d'écoulement croissants s'ordonne en proportion des surfaces occupées par ces 3 types pédologiques (BOULET et al. - 1980). L'influence des pentes est secondaire, mais pourrait expliquer l'inter-version dans l'ordre attendu des bassins G et F.

Un des aspects de l'interprétation hydrologique de cette expérimentation est clairement posé : Il y a bien un traitement standard appliqué à tous les bassins, le déforestation mécanisé de type papetier suivi d'un défrichement à vocation agricole, mais cette intervention s'applique à des domaines hydrologiques bien différenciés auxquels il faudra constamment se référer pour interpréter les changements observés dans les régimes des écoulements.

3. EVOLUTION DU RUISSellement SUR LES BASSINS DEFRIQUES

Une méthodologie élémentaire consiste à comparer les régressions entre la pluie de l'averse et la lame écoulée de la crue correspondante avant, puis après défrichement.

L'ensemble des bassins ayant un écoulement nul ou très faible quelques heures après la fin de la pluie, il n'est pas ambigu, en général, de déterminer le début et la fin de chaque crue et l'averse incidente correspondante. Cependant lorsque la Zone Intertropicale de Convergence est très active et donne lieu à des averses très rapprochées, la détermination de la pluie associées à chaque pointe de l'hydrogramme est délicate, ce qui oblige à un regroupement de certains événements pour créer un couple 'Pluie-Lame écoulée' consistant. La séparation entre l'écoulement rapide (ruissellement et écoulement latéral des BV à drainage bloqué) et l'écoulement de base a été faite selon la méthode conventionnelle qui suppose une variation linéaire du débit de base entre le début et la fin de la crue. Ce principe, dont la réalité physique est contestable, a l'avantage d'être systématique et ne devrait pas introduire de biais significatif dans les résultats entre les différents bassins-versants. En fait, les volumes ruisselés sont peu sensibles aux incertitudes que l'on peut avoir sur la date exacte du point de fin de ruissellement (C. DUPRAZ - 1984). Les résultats des corrélations linéaires, pour les crues ayant ruisselé au moins 1 millimètre font l'objet du tableau 2. La dernière colonne du tableau (R50) contient le rapport des espérances du ruissellement après et avant défrichement pour une averse de 50 millimètres.

A titre d'exemple on a figuré la répartition des points pour deux bassins-versants, A (fig. 2) et G (fig. 3).

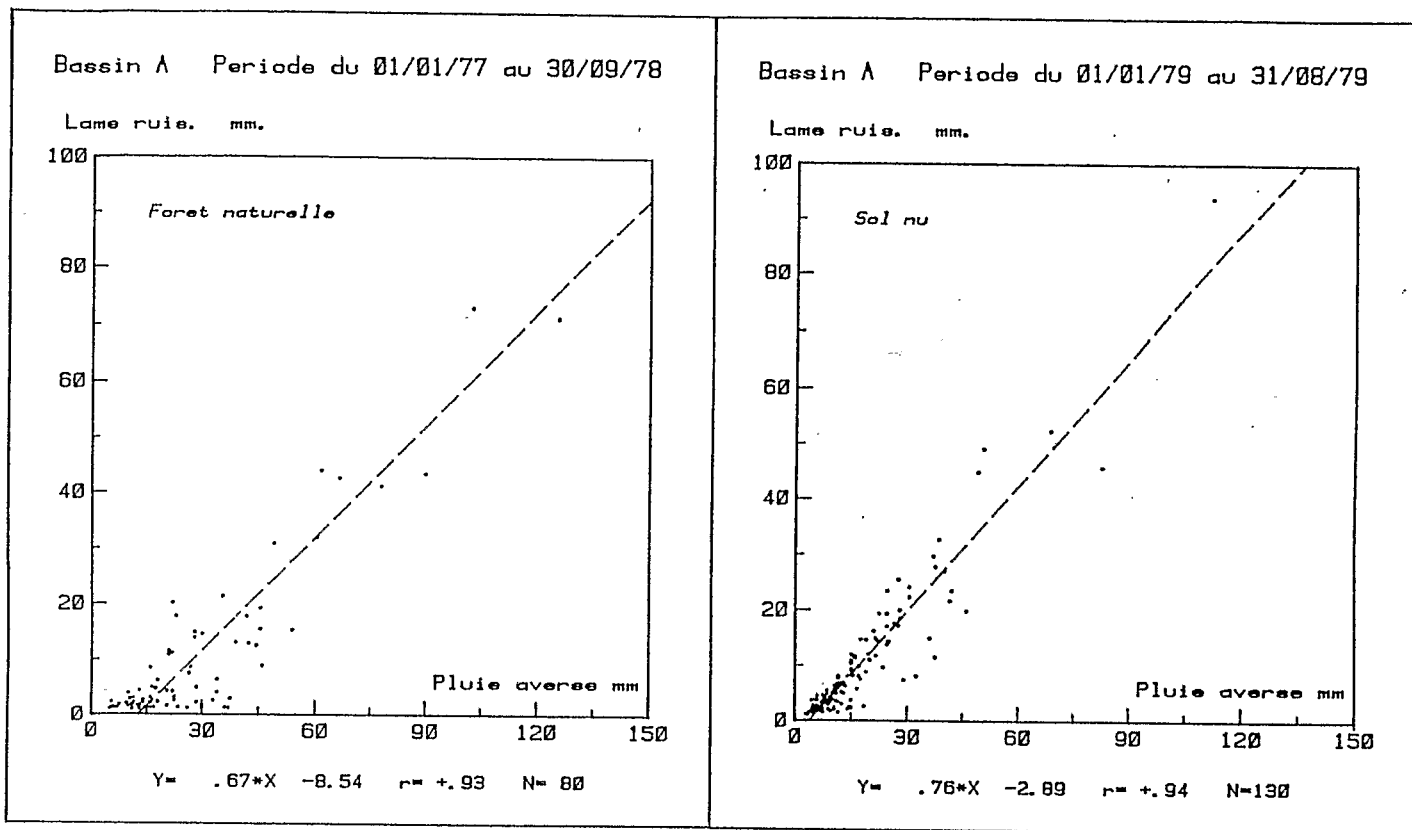


Figure 2 : BASSIN A - Relation entre la pluie des averses et la lame ruisselée résultante, sous forêt naturelle (à gauche) et sur sol nu après un défrichement mécanisé (à droite).

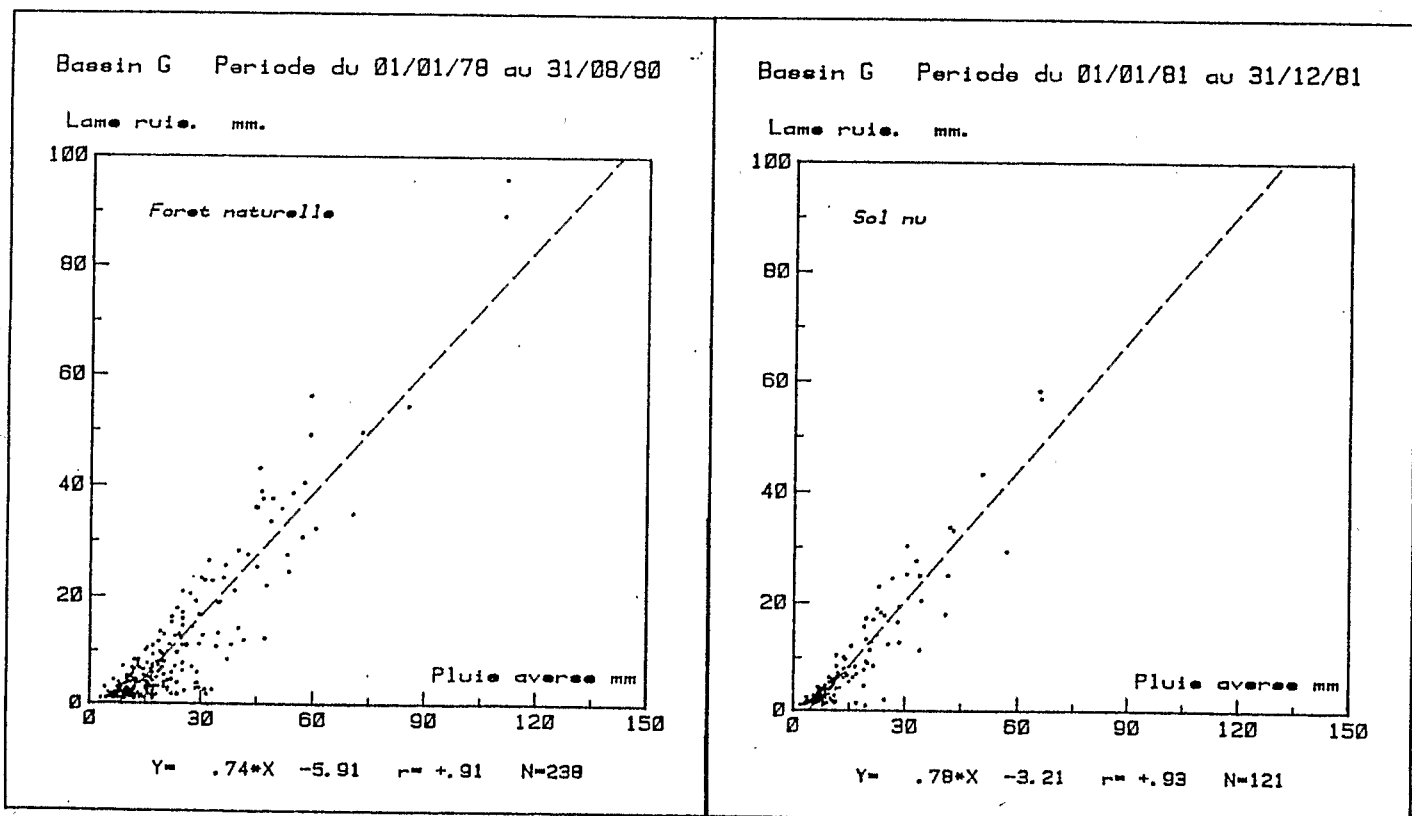


Figure 3 : BASSIN G - Relation entre la pluie des averses et la lame ruisselée résultante, sous forêt naturelle (à gauche) et sur sol nu après un défrichement mécanisé (à droite).

	Forêt naturelle				Sol nu				R50
	a	b	r	n	a	b	r	n	
C	.22	-3.0	.84	40	.40	-2.8	.88	86	2.15
D	.44	-4.3	.90	121	.52	-4.6	.94	60	1.21
A	.67	-8.5	.93	80	.76	-2.9	.94	130	1.40
J	.63	-5.1	.92	270	.77	-3.4	.97	98	1.33
G	.74	-5.9	.91	238	.78	-3.2	.93	121	1.15
H	.69	-3.8	.92	251	.77	-3.8	.96	154	1.13

TABLEAU 2 : Paramètre de l'ajustement linéaire entre lame ruisselée par crue et pluie de l'averse (en mm), sur les bassins expérimentaux. (R50 = rapport des lames ruisselées sur sol nu et sous forêt pour une pluie de 50 mm).

On constate que le ruissellement sur sol nu est toujours supérieur à ce qu'il était en forêt, mais que ces augmentations sont très variables dans des rapports allant de 1.1 à 2.2, et dans un ordre à peu près inverse de celui des écoulements en milieu naturel. On peut en conclure que les coefficients de ruissellement des crues individuelles augmentent d'autant plus que le bassin ruisselait mal en milieu naturel, les sols à drainage libre réalisant un gain de plus de 100% sur le ruissellement engendré par une pluie de 50 mm., alors que l'accroissement serait de l'ordre de 30 à 40% pour les sols à drainage bloqué et ne dépasserait pas 15% sur les bassins-versants associant sols à drainage bloqué et nappe de bas-fond.

Pour être tout à fait rigoureux, il faut tenir compte du fait que les périodes d'étalonnage en forêt naturelle et celles en sol nu sont forcément consécutives sur un même bassin et peuvent être différentes entre bassins. (fig. 1). La variabilité interannuelle est donc susceptible d'intervenir dans ces résultats que l'on impute peut-être à tort aux défrichements ou que l'on interprète avec complaisance en fonction des caractéristiques pédologiques.

Pour vérifier cette hypothèse on a procédé au calcul des mêmes ajustements linéaires sur les bassins témoins, (bassin B comme témoin pour A, C et D et bassin F comme témoin de G, H et J), pour les mêmes périodes que celles correspondant au tarage sous forêt et au sol nu de chacun des bassins expérimentaux considérés. On constate qu'il y a quasiment égalité entre les paramètres des régressions linéaires établies pour le témoin B pendant les 2 périodes de chacun des bassins A et C, et le rapport R50 calculé à partir des 2 régressions de B vaut 0.99. En termes statistiques on peut donc admettre que pendant les 8 premiers mois de l'année 1979 qui ont vu les bassins A et C en

sol nu, il est tombé un ensemble d'averses, dont la structure, le nombre et la répartition dans le temps, ont produit des écoulements selon la même espérance mathématique que celle de la période d'étalonnage précédente. Les résultats successifs de ces deux bassins peuvent donc être interprétés comme tel, par exemple au niveau des rapports R50.

Par contre 3 bassins ont bénéficié pendant leur défrichement de période moins favorables au ruissellement que pendant leur phase forestière. Ainsi les rapports R50 calculés sur le témoin F sur les périodes de G et H valent respectivement 0.91 et 0.89. La distorsion est plus élevée encore pour le bassin D, où le rapport R50 du témoin (B) vaut 0.73.

Par contre, le bassin J, déforesté et défriché en 82-83, a bénéficié d'un contexte pluviométrique plus 'ruisselant' que sa période d'étalonnage : le rapport R50 du témoin (F) pendant les 2 périodes vaut 1.07. Les effets du défrichement sur les fonctions de production présentées dans le tableau 2 sont donc assez fortement biaisés pour 4 des bassins, dans un rapport que l'on peut estimer en première approximation, comme étant inversement proportionnel au R50 des témoins. En effectuant cette correction, les résultats de la dernière colonne du tableau 2 sont modifiés comme suit :

BV	C	D	A	J	G	H
R50	2.15	1.66	1.42	1.25	1.27	1.28

Rappelons que les bassins sont dans l'ordre de leurs coefficients de ruissellement naturels : 6% sur C, 16-17% sur D et A, 30-35% sur J, G et H.

Cette fois, les gains minimums de la fonction de production sont plus 'confortables' et dépassent toujours 25%, même sur les bassins les moins sensibles au défrichement, contre 13% précédemment obtenus, sans le recours aux corrections par les bassins témoins. Néanmoins, ces résultats restent décevants pour l'hydrologue qui assure au jour le jour la gestion des bassins, et son impression subjective demeure que les modifications de l'écoulement provoquées par le défrichement sont plus importantes encore et que ce gain de l'opérateur global pluie-débit n'intègre qu'un aspect de la réalité.

4. COMPARAISON DES ECOULEMENTS ENTRE BASSINS DEFRICHES ET BASSINS TEMOINS

Les doubles masses constituent une méthode immédiate et souvent très efficace pour mettre en évidence une rupture dans une série chronologique. Pendant la phase de défrichement,

le témoin représente le meilleur modèle hydrologique possible dans sa justesse et sa complexité pour reconstituer les écoulements théoriques sous forêt du bassin traité, qui seront confrontées avec celles réellement observées cette année-là. En fait il n'y a aucune raison pour que le rapport des cumuls sous forêt naturelle, entre les données du témoin et celles du bassin expérimental ne se maintiennent pas ultérieurement, même dans des situations climatiques très différentes de celles de la période de tarage, pourvu que les intrants pluviométriques soient les mêmes sur les 2 bassins et que les mécanismes hydrologiques y soient de même nature.

La première condition est bien satisfaite sur le dispositif : les témoins et les bassins expérimentaux sont toujours séparés par moins de 2 kilomètres à vol d'oiseau, le plus souvent par moins de 500 mètres et il n'existe pas de relief susceptible de modifier l'isotropie de la pluie dans le secteur. La seule perturbation systématique est l'existence d'un gradient pluviométrique croissant de la mer vers la terre, dont la valeur interannuelle serait de l'ordre de 20 millimètres par kilomètre et qui ne paraît pas en mesure d'intervenir à l'échelle de nos préoccupations.

La deuxième condition est plus draconienne compte tenu des différences essentielles existantes dans le dispositif des 10 bassins versants. Qu'en est-il exactement ? Les conditions de l'écoulement sur le bassin-témoin F (système à drainage bloqué avec formation de nappes dans le bas-fond) sont tout à fait comparables avec celles des bassins G et H. L'unité J présente des similitudes fonctionnelles un peu atténuées car les pédologues n'ont pas cartographié la ligne 'nappe affleurante en saison des pluies'. Par contre les fonds sont ceinturés par une isoligne "disparition de l'horizon sec au toucher" ce qui représente une dynamique hydrologique très voisine, au moins à l'échelle des crues individuelles. Ainsi il n'apparaît pas de restrictions importantes pour l'interprétation des doubles-masses dans le groupe F, G, H et J, ce qui n'est pas le cas du groupe A, B, C et D. En effet si le témoin (B) et le bassin A sont tout à fait comparables (respectivement 90% et 100% de sols en drainage bloqué), l'association avec le bassin C (100% de sols à drainage libre) paraît plus problématique : Il est évident que les comportements d'un bassin perméable et d'un bassin imperméable peuvent diverger complètement d'une année à l'autre en fonction de la quantité d'eau reçue et de la répartition temporelle de celle-ci, et par conséquent l'occurrence pendant le défrichement d'un régime pluviométrique par trop différent de celui de la phase forestière du bassin ne permet pas de reconstituer l'écoulement théorique sous forêt avec la précision souhaitée. Fort heureusement la Guyane bénéficie d'une répétitivité annuelle en

saison des pluies assez satisfaisante pour que la méthode comparative fonctionne de façon acceptable, ce qui pourrait être tout à fait exclu sous d'autres latitudes. Ces observations sont valables, à un moindre titre, pour le bassin D, qui comporte 60% de sols à drainage libre et 40% à drainage bloqué.

En conclusion, les résultats obtenus sur C et D devront être interprétés avec prudence et pourront faire l'objet de réserves.

L'origine et la valeur des changements de pentes sont identifiés sans ambiguïté sur les bassins D, G, H et J (figures 4 et 5). Par contre, sur C et surtout sur A, on note l'existence de deux tendances successives ; la première, qui correspond à la période de janvier à avril 1979 et une seconde plus forte, qui couvre la période de mai à août. Dans le premier cas, on évalue les effets du défrichement mécanisé 'stricto-sensu', au terme duquel le tracteur à chenilles abandonne à mi-pente des versants un andin en forme de croissant, composé de terre, de souches et de racines extraites des fonds du bassin-versant, ce qui a eu pour effet de créer une véritable banquette qui modère l'accroissement du ruissellement. Les données correspondant à ce premier stade (augmentation globale du ruissellement dans un rapport 2.4 sur C et 1.9 sur A) ont été publiées et commentées (J.M. FRITSCH - 1983). Cet andin a été réduit à la main (tronçonnage, puis brûlis) et le bassin a subi un labour léger à la fourche pour préparer la plantation du pâturage et du verger. Ce deuxième état, contemporain du maximum de la saison des pluies (mai-juin), voit le ruissellement augmenter dans des proportions tout à fait surprenantes et atteignant 4.1 sur C et 3.3 sur A. Les gains relatifs qui sont portés au tableau 3, (ligne 2), représentent dans tous les cas la valeur moyenne sur l'ensemble de la période considérée comme étant en sol nu. Ainsi, selon les bassins, le ruissellement a augmenté globalement dans des proportions allant de 1.5 à 3.3, ces augmentations étant toujours dans l'ordre inverse de l'abondance des écoulements naturels. Ces valeurs sont très sensiblement supérieures, (de plus de 50%), à celles précédemment obtenues par l'étude des régressions linéaires des 'averses-crues' (figure 6).

Le malaise que l'on peut ressentir face à la différence entre les résultats obtenus par les deux méthodes, est rapidement dissipé si l'on considère le nombre de crues des bassins expérimentaux et des témoins pendant les deux stades successifs. Par exemple, les bassins A et B (témoin), ont vu l'occurrence respective de 115 et 181 crues pendant la phase forestière commune (mai 77 à août 78), soit un rapport A/B de 0.64. Or on ne compte pas moins de 208 crues sur le bassin A pendant les 8 premiers mois de 1979, sur sol nu, alors que dans le même temps on en dénombrait 'seulement' 123

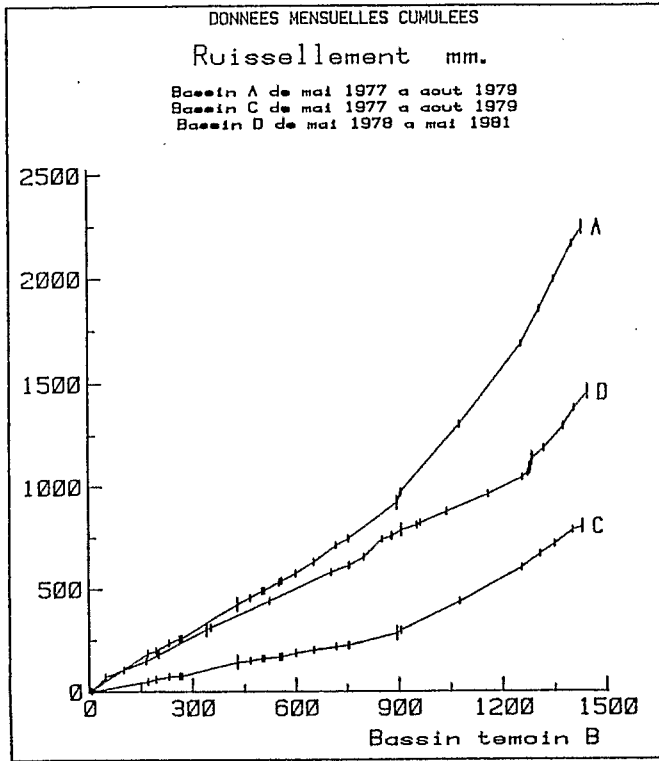


Figure 4

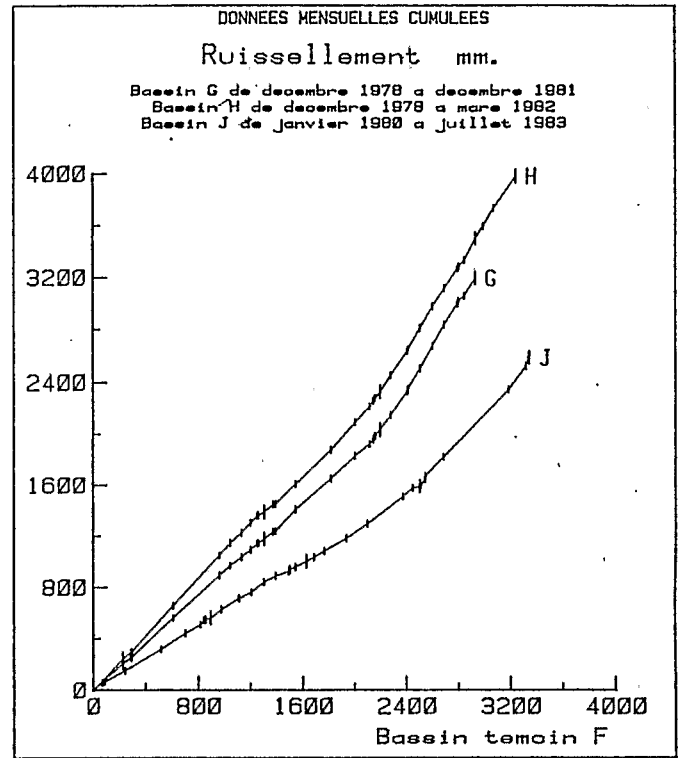
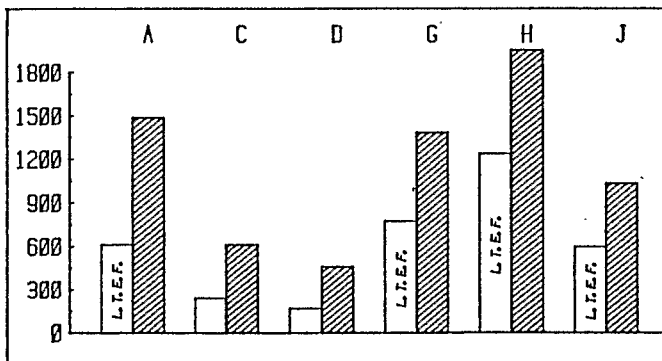
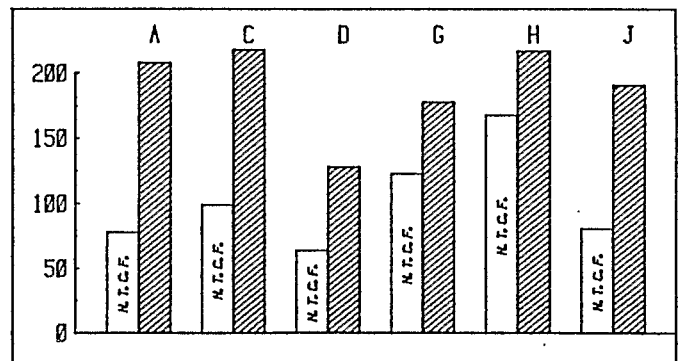


Figure 5



Lames Theoriques Ecoulees sous Forêt (L.T.E.F.) et lames ecoulees reellement observees (en mm.) sur les bassins experimentaux pendant leurs phases respectives en sol nu

Figure 6



Nombre Theorique de Crues sous Forêt (N.T.C.F.) et nombre de crues reellement observees sur les bassins experimentaux pendant leurs phases respectives en sol nu

Figure 7

sur le témoin B, c'est-à-dire que l'augmentation relative du nombre de crues après défrichement du bassin A est de 2.66.

Dans l'ordre respectif habituel C, D, A, J, G, et H, cette même reconstitution sur les autres bassins aboutit à la gamme de rapports 2.2, 2.0, 2.7, 2.4, 1.5, et 1.3 (figure 7).

Il y a donc une augmentation très importante du nombre des crues après défrichement, ce qui revient à dire que si l'opérateur pluie-débit augmente quelque peu, il fonctionne aussi plus fréquemment, ce qui conduit à des valeurs de ruissellement cumulées aussi élevées.

5. LES CAUSES DE L'AUGMENTATION DU RUISSellement

On peut considérer les valeurs absolues de l'eau supplémentaire ruisselée lors du défrichement et tenter de mettre celles-ci en rapport avec les modifications dans les flux hydriques et dans la nature des mécanismes de formation du ruissellement, tout en gardant à l'esprit que ces volumes n'ont aucun caractère comparatif entre bassins si les périodes de références sont différentes.

D'un point de vue conceptuel, on peut répertorier les causes du changement de la façon suivante :

- Apport d'eau supplémentaire correspondant à la suppression de l'interception par la canopée.
- modification des bilans évaporatoires pendant la durée des crues, l'évaporation

d'un sol nu venant remplacer la transpiration de la forêt.

- modification des conditions initiales de saturation avant crue par variation des flux hydriques verticaux en dehors des écoulements de crue.
- modification physique des sols dû au décapage et au tassement par les engins, qui renforce l'efficacité de l'opérateur pluie-débit.

Pour évaluer l'importance du premier terme cité, (le défaut d'interception), nous avons utilisé un algorithme pour le calcul de l'interception par la canopée à l'échelle journalière (J.M. FRITSCH - 1986), établi à partir des données recueillies pendant un an sur le bassin-versant de la Crique Grégoire (M.A. ROCHE - 1983). Cette évaluation porte exclusivement sur les jours où l'on avait observé du ruissellement. Les excédents pluviométriques obtenus (ligne 4 du tableau 3), ne participent pas intégralement au gain de ruissellement constaté, mais s'écoulent en première approximation avec les coefficients de ruissellement propres à chaque bassin. En effectuant cette correction, on parvient à estimer le poids effectif de ce paramètre dans le gain de ruissellement mesuré, (ligne 5 du tableau 3).

Il apparaît que la suppression de l'interception de la pluie par la voûte forestière a ainsi un effet assez sensible sur le ruissellement, puisqu'en cas de déforestation, de 15% à 35% des gains d'écoulements constatés, sont dus à ce seul phénomène

La deuxième série de causes invoquées, était la modification des flux évaporatoires

		C	D	A	J	G	H
1	Période (mois-année)	01-79 → 07-79	12-80 → 05-81	01-79 → 07-79	01-83 → 07-83	03-81 → 12-81	03-81 → 03-82
2	Gain relatif du ruissellement	3.3	2.7	2.5	1.8	1.8	1.5
3	Gain (mm)	350	223	734	455	385	471
4	Défaut d'interception (mm)	211	144	212	196	189	256
5	Participation au gain (%)	15	21	18	27	32	34
6	Défaut de transpiration (mm)	96	44	106	60	74	104
7	Participation au gain (%)	18	13	10	9	13	15
8	Proportion du gain liée à la dégradation des sols (%)	67	66	72	64	55	51

TABLEAU 3 : Gains absolus et relatifs du ruissellement après défrichement des bassins-versants.

pendant les crues. On peut penser que cette composante est de quelque importance car il est courant qu'il ne pleuve que pendant le début de la crue, jusqu'à la fin du temps de montée par exemple, et que le ruissellement ait lieu sous un ciel partiellement dégagé dans des conditions favorables à une reprise intense de l'évaporation et de l'évapotranspiration puisque les réserves d'eau facilement mobilisables viennent d'être reconstituées.

Le déficit d'écoulement moyen inter-annuel en Guyane calculé sur des grands bassins versants et assimilé à l'évapotranspiration réelle de l'écosystème forestier amazonien représente 1470 mm, dont 510 mm sont interceptés directement par la canopée (M.A. ROCHE - 1982). La consommation d'eau par extraction racinaire et évaporation directe du sol mobilise donc une tranche de 960 millimètres par an. Nous avons modulé mensuellement ce phénomène comme l'ETR calculé par la méthode de THORNTWAITE pour la station de ROCHAMBEAU (H. MADEC - 1963), d'où l'on obtient une estimation journalière pondérée de l'ETR de la forêt.

La durée effective du ruissellement pendant la période en sol nu c'est-à-dire la somme des temps de base des hydrogrammes, a été calculée mensuellement pour chaque bassin et aboutit à des temps toujours inférieurs à 10 jours par mois. En fait, les périodes avec ruissellement ont représenté 17% du temps total, sur A et C pendant la saison des pluies de 79, et de 9 à 10% sur les autres bassins en 1980, 1981 et 1982. On peut ainsi estimer le défaut de transpiration de la forêt pendant les crues, (ligne 6 du tableau 3). Cette eau qui aurait été consommée par le métabolisme de la forêt, n'est pas entièrement disponible pour le bilan latéral ou souterrain de l'eau, car l'évaporation du sol nu représente une certaine tranche qu'il faut estimer. Tous les protocoles expérimentaux destinés à différencier l'évapotranspiration de la végétation de l'évaporation d'un sol nu, conduits sur lysimètres, sur sols en place (O.G. GRAMMATICATI - 1969), ou par la méthode de la chambre ventilée (E.A. GREENWOOD et al. - 1979, 1980, 1984) concordent sur le fait que l'évaporation du sol nu est toujours bien inférieure à celle d'un couvert végétal, même dans de très bonnes conditions de saturation. En admettant que le rapport des flux évaporatoires sol nu/forêt soit de l'ordre de 1/3, on peut calculer la quantité d'eau supplémentaire disponible pendant l'écoulement des bassins défrichés et estimer la part de ce phénomène dans le gain (ligne 7 du tableau 3). Ce concept pourrait ainsi représenter de 10 à 18% des écoulements supplémentaires consécutifs aux défrichements.

Les deux groupes de facteurs qui viennent d'être évoqués et qui prennent en compte de 28 à 36% des ruissellements supplémentaires mesurés sur les bassins sans nappes de bas-fonds,

relèvent de la nature même du scénario de la mise en valeur et de l'expérimentation, (la disparition de la forêt), et ne sont pas directement liés à la technologie utilisée pour le défrichement. Par contre, on peut dire que les résidus jusqu'ici non expliqués (51 à 55% sur les bassins à nappe phréatique et 64 à 72% sur les bassins sans nappe), sont à mettre au compte d'un accroissement effectif des potentialités de ruissellement du bassin, du à la dégradation des sols (ligne 8 du tableau 3). La justification physique de cette affirmation réside dans l'épaisseur considérable du décapage des sols par les tracteurs à chenilles. Cette ablation, effectivement mesurée sur l'un des bassins (J.M. FRITSCH - 1983), est de l'ordre de 20 à 30 cm en haut de versant, avec une moyenne pondérée sur le bassin de 8,5 cm. Après cette ablation réalisée aux dépens de l'horizon superficiel à macroporosité importante, le niveau du terrain naturel se rapproche ou atteint l'horizon argileux compact et la dynamique de l'eau devient de plus en plus superficielle.

A lui seul, le fait d'utiliser des engins lourds est responsable, de 65% du ruissellement supplémentaire qui se produit sur sol nu après disparition de la forêt primaire.

Les valeurs plus faibles, (55 et 51%) sur G et H, sont liées à l'existence d'une zone de nappe sur une partie du bassin dont les coefficients de ruissellement ne sont pas modifiés par le défrichement, mais tout porte à croire que l'accroissement de ruissellement sur les versants de G et H se fait selon les mêmes proportions que sur l'ensemble des autres bassins versants.

6. CONCLUSIONS

Les enseignements de cette analyse hydrologique sont de deux ordres :

- Conclusions d'ordre méthodologique :

On a pu constater l'importance majeure des données des bassins témoins auxquelles il a fallu constamment se référer pour reconstituer, sur les bassins défrichés, l'écoulement tel qu'on l'eut observé sous forêt naturelle et cela, en limitant au maximum les distorsions introduites par la variabilité interannuelle. Au stade actuel de nos travaux il apparaît qu'il faudrait disposer d'un modèle très sensible et très bien réglé, exigeant peut-être des données agroclimatologiques supplémentaires pour déceler les modifications dues à l'expérimentation, avec une précision équivalente.

- Conclusion d'ordre monographique :

A partir d'une situation hydrologique très contrastée sur de petites unités

d'écosystème amazonien, on a quantifié l'augmentation du ruissellement sur sol nu après défrichement mécanisé de la forêt primaire.

Selon les bassins-versants, le ruissellement a augmenté globalement dans des proportions qui vont de 1,5 à 3,3. Les taux de croissance les plus élevés affectent les bassins qui ruisselaient peu à l'origine (6% par an).

Les mécanismes de cette augmentation sont pour une part un gain de productivité de l'opérateur 'averse crue' et d'autre part une augmentation importante du nombre des crues, selon des facteurs variant de 1,3 à 2,7 selon les bassins-versants.

Dans le bilan de l'exédent, l'eau supplémentaire qui provient de la suppression de l'interception des pluies par la canopée forestière représente de 15 à 35% ; la proportion la plus forte concerne les bassins qui ruisselaient beaucoup au stade naturel (30 à 35% par an).

65 à 72% du ruissellement exédentaire après défrichement sont à mettre directement au compte de la dégradation des caractéristiques hydrodynamiques des sols après le passage des engins lourds utilisés (tracteur CATERPILLAR D8 équipé d'une lame ROME et d'un râteau andaineur hydraulique, le tout pesant 32 tonnes). Le régime hydrologique prend un caractère plus torrentiel par suite du décapage des horizons superficiels les plus poreux.

Bibliographie citée :

- SARRAILH, J.M. (1984). Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais. Résumé des premiers résultats. - Bois et Forêts des Tropiques n° 206, 4e trimestre 1984, p. 13 à 32.
- ROCHE, M.A. (1982). Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier amazonien à ECEREX, en GUYANE. - Cahiers ORSTOM, série Hydrologie, Vol. XIX, n° 2-1982, p. 81 à 114.
- BOULET, R. (1983). Organisation des couvertures pédologiques des bassins-versants. - in 'Le Projet ECEREX, compte rendu des journées de CAYENNE'. (4-8 mars 1983), GERDAT, INRA, MUSEUM, ORSTOM, p. 23 à 52.
- BOULET R., FRITSCH J.M., LESCURE J.P.. (1980). Etude Multidisciplinaire de l'écosystème forestier guyanais. Interrelations entre diverses disciplines envisagées à partir de l'approche pédologique. - ORSTOM-CEPE, Séminaire de Montpellier, 8-9 septembre 1980, 14 p.
- DUPRAZ, C. (1984). Bilan des transports d'eau et d'éléments minéraux dans 3 bassins-versants comparatifs à végétation contrastée. (Mont Lozère - FRANCE). - Thèse de doctorat, Univ. d'Orléans, 360 p.
- FRITSCH, J.M. (1983). Modification des écoulements après défrichement et aménagements agro-forestiers de bassins-versants expérimentaux en GUYANE Française. - in 'Le Projet ECEREX, compte-rendu des journées de CAYENNE'. (4-8 mars 1983), p. 260 à 304.
- ROCHE, M.A. (1982). Evapotranspiration réelle de la forêt amazonienne en GUYANE. - Cahier ORSTOM, Série Hydrologie, Vol. XIX, n° 1-1982 p. 37 à 44.
- MADEC, H. (1963). L'évapotranspiration potentielle et le bilan de l'eau en GUYANE, d'après les méthodes de THORNTHWAITE. - Météorologie Nationale, CAYENNE, 12 p.
- GRAMMATICATI, O.G. (1969). Water Movement and its utilization by plants under the deep water storage in soil by using off-season irrigation. - Actes du Symposium de Waegeningen 'L'eau dans la zone non saturée', AISH-UNESCO, p. 694 à 704.
- GREENWOOD E.A.N., KLEIN L., BERESFORD J.D. and WATSON G.D. (1985). Différences in annual evaporation between grazed pasture and Eucalyptus species in plantations on a saline farm catchment. - Journal of Hydrology, n° 78, p. 261 à 278.
- GREENWOOD E.A.N. and BERESFORD S.D., (1980). Evaporation from vegetation in landscapes developing secondary salinity using the ventilated - chamber technique. - Journal of Hydrology, n° 45, p. 313 à 319.
- FRITSCH, J.M. (1983). Evolution des écoulements, des transports solides à l'exutoire et de l'érosion sur les versants d'un petit bassin après défrichement mécanisé de la forêt tropicale humide. - Hydrology of humid tropical regions, IAHS publication n° 140, p. 197 à 214.