

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 tropicakhumide

JEAN-MARIE FRITSCH

ORSTOM, Cayenne, French Guiana

RESUME Dans le cadre d'un vaste programme d'étude de l'écosystème forestier tropical humide en Guyane Française, la section hydrologique de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre Mer (ORSTOM) assure depuis 1977 une opération d'hydrologie expérimentale sur 10 petits bassins versants. Les écoulements de surface et les transports solides ont été mesurés pendant deux cycles hydrologiques annuels dans le milieu physique et climatique amazonien originel (forêt primaire, pluviométrie annuelle 3200 mm). Passé ce délai, les bassins versants sont déforestés et défrichés à l'aide d'engins lourds (tracteurs à pneus et à chenilles) en simulant les conditions d'une exploitation forestière de type papetier. Le suivi de l'érosion mécanique sur l'un des bassins versants dont les résultats sont présentés dans cette communication, a bénéficié d'une attention particulière: les transports solides mesurés à l'exutoire du bassin versant ont pu être confrontés avec l'érosion des versants connue par des méthodes topographiques. Cet article fait le point sur l'évolution du ruissellement, de l'écoulement, du transport solide et de l'érosion pendant l'année du défrichement.

Changes in streamflow, solid transport at the basin outlet, and erosion on the slopes of a small tropical forest basin after clearcutting with heavy machines

ABSTRACT With the framework of a vast study of the tropical forest ecosystem in French Guiana, since 1977 the Hydrology Section of ORSTOM has undertaken experimental studies on 10 small basins. The streamflow and solid transport under the physical and climatic regime of the natural amazonian forest (annual rainfall of 3200 mm) were measured throughout two annual cycles. The basins were then clearcut using heavy machinery (tractors with tyres and catapillar tracks), in a similar way to that used by the paper industry. The results of the mechanical erosion that followed are presented; particular reference being given to the solid transport measured at the basin outlet compared to the erosion on the slopes calculated by topographical methods. The paper discusses the changes in streamflow, discharge, solid transport and erosion during the clearcut year.

O. R. S. T. O. M. Fonds Documentaire

197

81151

13 JUIN 1994 N° : 39643

Cote : B

LE PROGRAMME DE "MISE EN VALEUR DE L'ECOSYSTEME FORESTIER EN GUYANE"

Depuis 1977, dans le cadre d'un vaste programme scientifique dans lequel sont impliquées de grandes centrales de recherches françaises, l'écosystème forestier amazonien et les conditions de sa mise en valeur en Guyane Française ont été objets d'études menées de façon intégrée dans la plupart des disciplines du milieu naturel (pédologie, botanique, bioclimatologie, hydrologie, etc.).

La genèse du programme se place à une époque où la forêt guyanaise faisait l'objet de spéculations à court terme de la part de deux grandes compagnies papetières qui avaient obtenu des permis d'exploitation sur plusieurs centaines de milliers d'hectares de forêt vierge. Les inquiétudes et les incertitudes pesant sur le devenir spontané et la récupération possible de ces espaces promis à la dévastation, ont infléchi ce programme scientifique vers un aspect expérimental qui prévoyait d'étudier les effets du défrichement papetier qui serait simulé à échelle réduite sur des micro-bassins versants, après quoi l'utilisation économique de ces terres serait testée selon des scénarios réputés vraisemblables dans le contexte socio-économique de la Guyane: plantations de vergers d'agrumes, plantation d'essences à croissance rapide (pin et eucalyptus), plantation de pâturages, recru spontané de la forêt.

Le protocole de l'étude prévoyait le suivi des écoulements et des transports solides pendant 2 ans sous forêt naturelle sur 10 bassins versants élémentaires drainant entre 1 et 1.5 ha (Roche, 1979). Ce sont des considérations d'ordre pédologique, plus précisément liées au régime hydrodynamique des sols qui ont prévalu dans le choix des bassins versants (Boulet, 1979). Le dispositif comporte effectivement l'ensemble des systèmes pédologiques susceptibles de se développer à partir du substratum des schistes de Bonidoro, qui vont de sols relativement profonds et perméables dans lesquels la dynamique de l'eau est verticale jusqu'à des sols qui voient leur capacité d'infiltration se réduire pratiquement à néant dès les premiers centimètres et pour lesquels la dynamique de l'eau est latérale et superficielle.

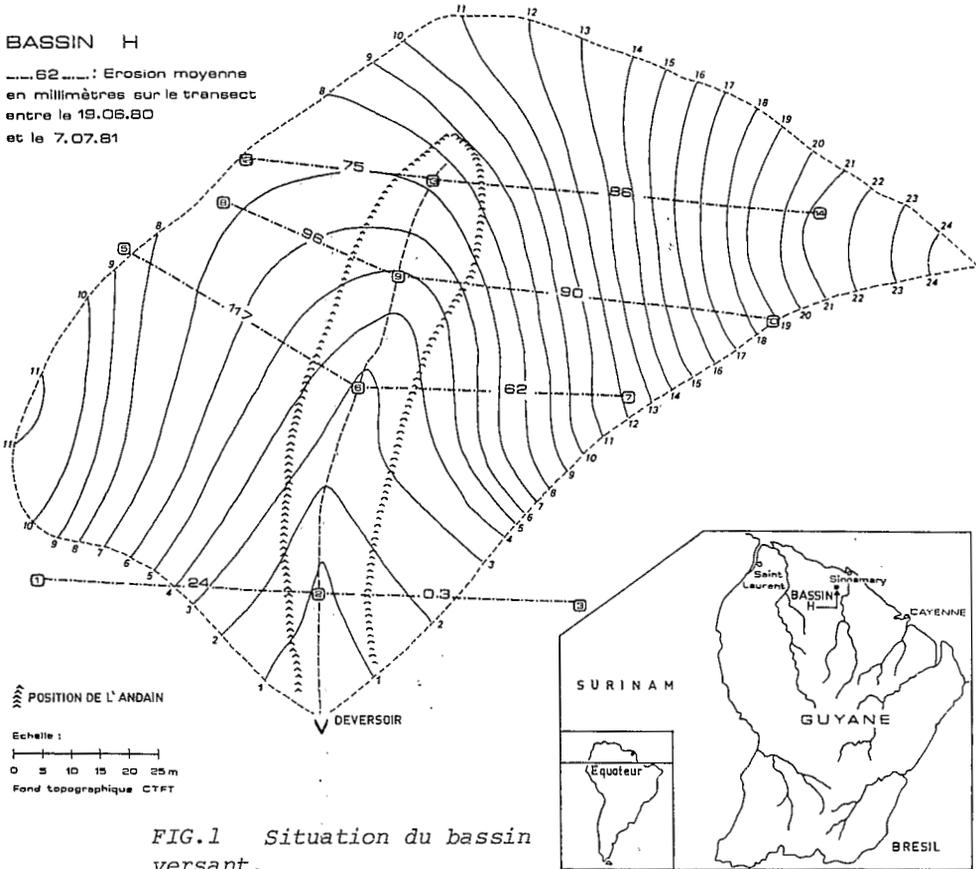
Les résultats hydrologiques obtenus après un an d'observation en moyenne par bassin ayant permis de quantifier de façon globale les rapports eau-sol-plante sous forêt (Roche, 1980), la phase d'expérimentation a débuté en 1979 et le dernier bassin a été défriché en décembre 1982.

Cet article exploite les résultats obtenus sur l'un des 10 bassins versants (H), qui a fait l'objet d'un suivi particulier en ce qui concerne l'érosion et sur lequel des mesures topographiques fines sur le bassin lui-même ont complété les mesures faites selon le protocole standard à l'exutoire du bassin versant.

LES CARACTERISTIQUES DU BASSIN VERSANT

Le bassin versant est situé au PK 12 de la piste de St Elie dans la région de Sinnamary ($5^{\circ}20'N-53^{\circ}05'W$). Des relevés topographiques exécutés dans des conditions difficiles sous forêt par plusieurs opérateurs avec des méthodes différentes (boussole-clisimètre et topofil, niveau de chantier, théodolite auto-

réducteur) convergent vers une même surface de bassin à 5% près. Au droit du déversoir, la surface drainée est de 1.0 ha, chiffre obtenu à partir du levé au théodolite exécuté par le Centre Technique Forestier Tropical CTFT (Fig.1). La dénivelée maximale entre les



crêtes et le déversoir est de 24 m. La pente des versants atteint localement 27% en rive gauche, sur 30% de la surface environ, alors que pour le reste du bassin les pentes sont légèrement inférieures à 20%.

Les sols sont développés sur un substratum de micaschistes (formation de Bonidoro), recoupé par quelques filons quartzeux de pegmatites en rive gauche. La caractéristique hydrologique essentielle de ces sols est leur aptitude au ruissellement, le pédologue ayant identifié l'ensemble du bassin comme un système à dynamique de l'eau latérale. De surcroît, la partie aval du bassin présente une nappe phréatique qui peut affleurer en surface sur 15% du bassin en saison pluvieuse et constituer un impluvium parfaitement imperméable.

La forêt recouvrant le bassin est parfaitement originelle dans la mesure où la piste n'a été ouverte qu'en 1975 et qu'il n'existe aucune rivière navigable qui aurait permis une action anthropique dans un passé plus lointain. La biomasse végétale superficielle de cette forêt mesurée par échantillonnage destructif sur une parcelle d'un

hectare est estimé à 588 t de matière sèche, dans les meilleures conditions pédologiques (Lescure *et al.*, 1982).

Sur le bassin versant proprement dit, une estimation de la phytomasse épigée faite par ces mêmes auteurs aboutit à 312 t ha⁻¹ toujours en poids sec, mais en considérant seulement les arbres de plus de 20 cm de diamètre.

La pluviométrie moyenne interannuelle sur le bassin établie à partir de 4 années hydrologiques (1978-1981) est de 3230 mm, et correspond bien à l'espérance de la moyenne longue durée en cet endroit, compte tenu des connaissances météorologiques générales sur la région.

La distribution annuelle des précipitations s'opère selon deux saisons:

- la saison des pluies qui dure de décembre à juillet en présentant un petit minimum statistique en février-mars et recoit 86% du total annuel soit 2785 mm pour le bassin versant;

- la saison "seche" constituée par les 4 mois d'août à novembre, pendant lesquels sont tombés en moyenne 450 mm (14% du total).

LES CONDITIONS DE MESURE DES PARAMETRES DE L'ECOULEMENT ET DE L'EROSION

Les précipitations

Les précipitations sont enregistrées par un pluviographe à rotation rapide et les diagrammes sont dépouillés à l'aide d'un numériseur Benson, avec un pas de temps pouvant descendre à 2 min. L'exploitation du fichier magnétique ainsi constitué permet d'individualiser des "averses" selon des critères établis par l'utilisateur. A ce propos, si l'idée subjective d'averse, c'est-à-dire d'épisode pluvieux de durée limitée ne pose guère de problème en régime pluviométrique contrasté, il en est tout autrement en Guyane, du moins dans le type de temps où la zone intertropicale de convergence stationne sur le pays et où des pluies continues d'intensité faible à modérée persistent pendant plusieurs jours. Après plusieurs essais, l'individualisation automatique des averses a été faite selon les critères suivants:

On appelle averse toute pluie d'au moins 1 mm séparée des averses adjacentes par une intensité restée inférieure à 1 mm h⁻¹ pendant au moins 60 min.

Ce seuil de 1 mm, extrêmement bas a dû être retenu après examen des écoulements du bassin versant, qui peuvent se produire ou se modifier pour des pluies de l'ordre de 2 mm; cette méthodologie aboutit à l'individualisation de 450 averses par an pour la période 1978-1981. Malgré la sévérité de ces critères, on n'englobe ainsi que 90% de la pluie annuelle, ce qui témoigne de l'importance des "averses" de moins de 1 mm qui représentent par exemple 307 mm en 1981.

Les écoulements

Les débits sont connus à partir de l'enregistrement continu des lames d'eau déversantes sur un seuil de type H-flume surélevé par un petit

déversoir en V pour permettre une connaissance des très faibles débits fréquents sur ce bassin par suite de la vidange de la nappe phréatique qui se poursuit pendant plusieurs jours après les épisodes pluvieux importants.

A la différence des "averses", les "crues" sont individualisées manuellement sur des tracés automatiques d'hydrogrammes à partir des fichiers magnétiques de hauteur d'eau établis à la même échelle de temps que pour les pluies (2 min). Sur ce bassin coexistent effectivement les trois formes d'écoulement: ruissellement superficiel, écoulement retardé et écoulement de nappe. L'écoulement retardé est caractéristique de ce type de bassin ou l'infiltration s'arrête au bout de quelques centimètres au contact de l'horizon pédologique dit "rouge compact".

Pendant les averses, nous avons assisté à la création de micro-nappes perchées qui se vident aussitôt à la faveur d'un accident topographique mineur et qui contribuent à grossir l'hydrogramme de la crue, cette juxtaposition de petits écoulements hypodermiques épars sur le bassin générant alors un véritable "ruissellement retardé".

Dans l'impossibilité que nous sommes de connaître la variation des écoulements de cette nature pendant la crue et dont on peut simplement présumer qu'ils mobilisent un volume important, nous avons inclus ce terme dans ce que nous appellerons "ruissellement" en choisissant les points caractéristiques de fin de crue très peu de temps avant que l'hydrogramme ne redevienne "plat", indice de la participation exclusive de la nappe dans l'écoulement.

La séparation de ce ruissellement avec l'écoulement de base est faite en supposant linéaire la variation du débit de base entre le début et la fin de la crue. En l'absence de toute connaissance sur l'évolution effective de ce type d'écoulement, ce procédé simpliste a l'avantage d'être systématique, indépendant de l'opérateur et facile à mettre en oeuvre par calcul automatique (Roche, 1967).

Les transports solides à l'exutoire

Les transports solides par suspension sont connus par prélèvement d'échantillons d'eau de 2 litres prélevés par un opérateur à intervalles de temps réduits, pendant les crues. Ce suivi de l'évolution de la turbidité en fonction des débits, permet de connaître les quantités de matières en suspension transportées par chaque crue en fonction de son volume. Cette relation a permis de reconstituer les transports solides par suspension pour les crues qui n'avaient pas été échantillonnées par suite de l'absence ou de la défection de l'opérateur. Les poids reconstitués représentent 15% du total transporté en 1979 (situation sous forêt) et 37% de ce total en 1981 (bassin en cours d'aménagement).

Le transport solide par charriage est connu à l'échelle mensuelle par cubage des sédiments qui se sont déposés dans une fosse située à l'amont du déversoir.

L'érosion sur le bassin versant

Pour perturber le moins possible le milieu naturel, la mesure des variations topographiques a été faite sur les layons déjà ouverts

pour la prospection pédologique.

On a ainsi pu disposer de huit transects (Fig.1), selon lesquels on a mesuré tous les mètres la distance entre le terrain naturel et un fil tendu à 1 m du sol environ entre deux repères nivellés par rapport au déversoir pour que cette opération soit reproductible après le défrichement mécanisé.

CHRONOLOGIE ET CARACTERISTIQUES DES AMENAGEMENTS REALISES SUR LE BASSIN VERSANT

L'observation du milieu naturel a commencé en janvier 1978 et s'est poursuivie jusqu'en juin 1980.

A partir de juillet 1980 commence le "déforestation" selon le protocole de la coupe papetière suivi par les exploitants de la société Parsons et Whittemore en juillet et août 1976 sur une parcelle de 10 ha (Guiraud, 1979). Tous les arbres de plus de 20 cm de diamètre hormis les "gaulettes" (*Licania* sp.) sont abattus à la scie à chaîne et façonnés en grumes. Il n'y a aucune intervention d'engins roulants dans cette phase.

L'exploitation de ces grumes en dehors du bassin versant est censée avoir lieu immédiatement après le déforestation, mais les responsables du programme avaient résolu de situer l'intervention des moyens mécanisés dans les conditions écologiques les plus sévères, c'est-à-dire en saison des pluies. Le bassin est donc resté au stade, "déforesté" jusqu'en décembre 1980.

Le "débardage" a finalement lieu en janvier 1981 sous une pluviométrie mensuelle de 337 mm. Les grumes sont halées par un tracteur débardeur à pneus sur un parc situé vers l'amont, au-delà des limites du bassin versant. C'est habituellement une opération très traumatisante pour le milieu naturel et on s'attend à voir apparaître des changements significatifs dans l'écoulement et le transport solide à partir de ce moment.

Un défrichement complémentaire visant à dégager les espèces non abattues au cours de l'exploitation papetière, les arbres de moins de 20 cm de diamètre, les houppiers et les souches fait suite dès lors que l'espace n'est pas voué au recru naturel.

Ce défrichement est réalisé par un très gros tracteur à chenilles (Caterpillar D8®) équipé à l'avant d'une lame coupante destinée à trancher à ras du sol les arbres restés sur pied (lame Rome®) et à l'arrière de puissantes griffes hydrauliques permettant l'arrachage des souches et utilisées comme rateau andaineur. Cette phase s'est déroulée entre le 24 février et le 11 mars 1981, sous une pluie intense, puisqu'on a relevé 445 mm pour le mois de février.

Ces conditions climatiques sévères ont d'ailleurs perturbé l'expérimentation: En effet, il a fallu interdire à l'engin sous peine d'enlèvement toute la zone du talweg affectée par une nappe phréatique quasi superficielle. De ces restrictions aux possibilités de manoeuvre du tracteur est résulté un immense andin en forme de croissant, d'un mètre de haut, constitué de troncs, de souches et de terre enserrant le talweg et formant un obstacle à l'écoulement des versants vers le bas fond comme une véritable banquette (Fig.1). Ce phénomène sera bien entendu de première importance dans l'interprétation des phénomènes hydrologiques et érosifs.

L'aménagement proprement dit commence en mai 1981 par la plantation d'*eucalyptus*. A cet effet 1300 trous de 20 cm d'arête sont creusés à la bêche pour recevoir les jeunes plants.

Au cours de la saison des pluies, la terre agglomérée dans l'andin est peu à peu lessivée tandis que les parties ligneuses sont brûlées pendant la saison sèche à partir du mois d'octobre 1981.

LES ECOULEMENTS ET LES TRANSPORTS SOLIDES SOUS FORET*

La première observation qui s'impose est l'importance exceptionnelle de l'écoulement sur ce bassin. En 1979, pas moins de 57% de la pluie atteignant la voûte forestière se sont écoulés, ce qui représente une lame équivalente de 1836 mm.

A l'échelle mensuelle, ce "rendement hydrologique" augmente encore et peut ainsi atteindre 83% des 692 mm de pluie mesurés en clairière en avril 1979.

On peut à priori penser que l'existence du déversoir avec ses fondations bétonnées profondes est responsable de ces fortes valeurs en bloquant l'écoulement de la nappe au profit de l'écoulement de surface. En réalité, ce phénomène ne peut pas introduire de distorsion significative, d'une part parce que la situation de nappe affluente en saison humide était déjà une caractéristique du bassin versant et d'autre part parce que les trois quart de l'écoulement annuel (1836 mm) ont lieu pendant les "crues", c'est-à-dire pratiquement dans un même temps que les averses.

L'application d'une relation linéaire fonctionnelle à l'échelle mensuelle entre pluie totale P et lame écoulée Le , pour les 30 mois d'observation sous forêt de janvier 1978 à juin 1980 donne d'assez bons résultats ($r = 0.93$ pour $Le = 0.86 P - 76.2$).

Néanmoins la répartition des points montre qu'il subsiste une dispersion marginale voisine de 200 mm de Le pour P donné. Un cas observé assez proche de ces conditions est constitué par le binôme, juin 1979-mars 1980 qui, pour une pluie équivalents de 290 mm ont présenté des écoulements respectifs de 185 et 27 mm. Cet écart représente physiquement la capacité d'absorption confondue de la forêt et de ce type de sol imperméable, compte tenu de l'abondance pluviométrique en Guyane.

Toujours à l'échelle mensuelle, la meilleure représentation du ruissellement est obtenue en mettant celui-ci en régression avec la pluie des averses ayant entraîné une crue (Pac). Il s'agit là d'un concept proche de celui de "pluie utile" utilisé par certains auteurs.

Selon cet ajustement (Fig.2(a)), la lame ruissellée mensuelle s'exprime par la relation: $Le = 0.63 Pac - 35.8$ avec $r = 0.97$.

Pour comparer l'évolution du bassin après déforestation, nous avons calculé l'intervalle de confiance à 90% pour l'estimation de Lr à Pac donné, en admettant que les deux distributions ne s'écartaient pas trop de la normale pour que cette démarche conserve une certaine consistance. L'indétermination sur Lr au seuil $p = 0.9$ varie très peu entre 49 et 53 mm dans le domaine 50-600 mm de Pac .

Nous avons également considéré les phénomènes d'écoulement et de

*L'ensemble de ces résultats à l'échelle mensuelle fait l'objet de l'Annexe.

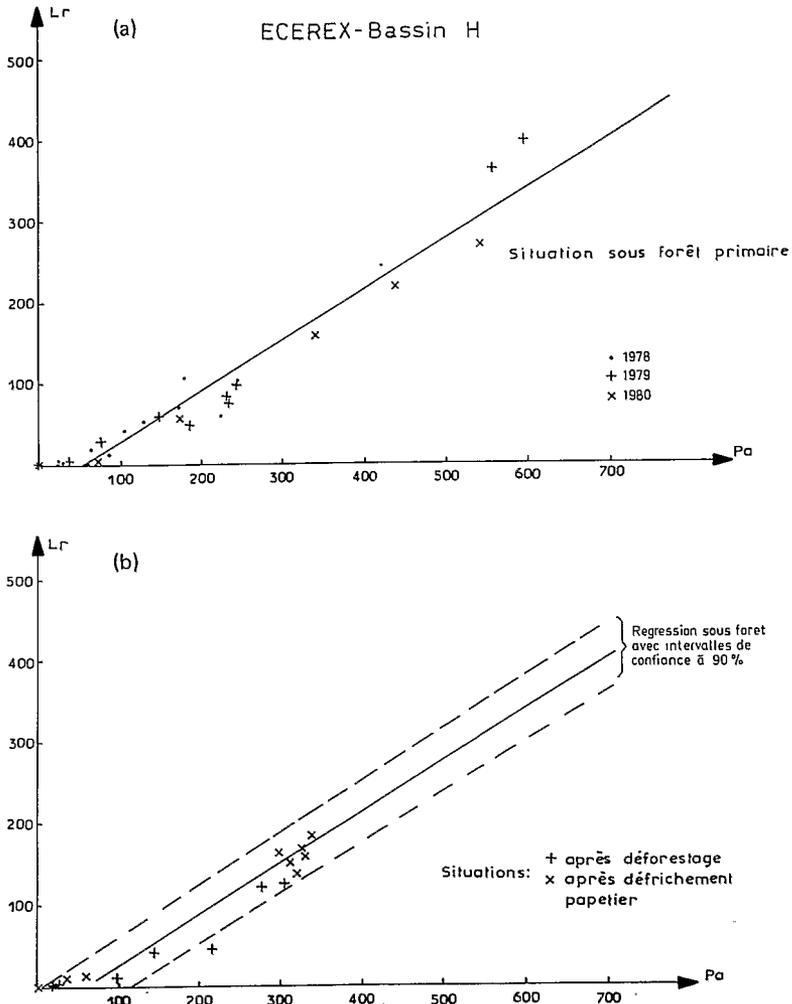


FIG.2 Lame ruisselée mensuelle L_r (mm) en fonction de la pluie des averses P_a (mm).

ruissellement à l'échelle de l'évènement élémentaire "averse-crue" à partir d'une sélection de toutes les crues ayant provoqué un ruissellement ou un écoulement supérieur à 0.5 mm au cours de l'année 1979.

On dispose ainsi de 113 évènements pour le ruissellement et 132 pour l'écoulement sur un total de 159 crues effectivement recensées au cours de cette année.

Les régressions de L_r et L_e en fonction de la pluie des averses P_a font l'objet de la Fig.3.

L'écoulement de chaque crue qui s'exprime par $L_e = 0.93 P_a - 5.2$ implique l'existence d'une espérance moyenne du coefficient d'écoulement variant de 72 à 88% pour des averses respectives de 25 et 100 mm. On est évidemment très proche du maximum physique possible et il n'y a pas lieu d'espérer de croissance significative après déforestation. Ces chiffres montrent également que l'interception et la

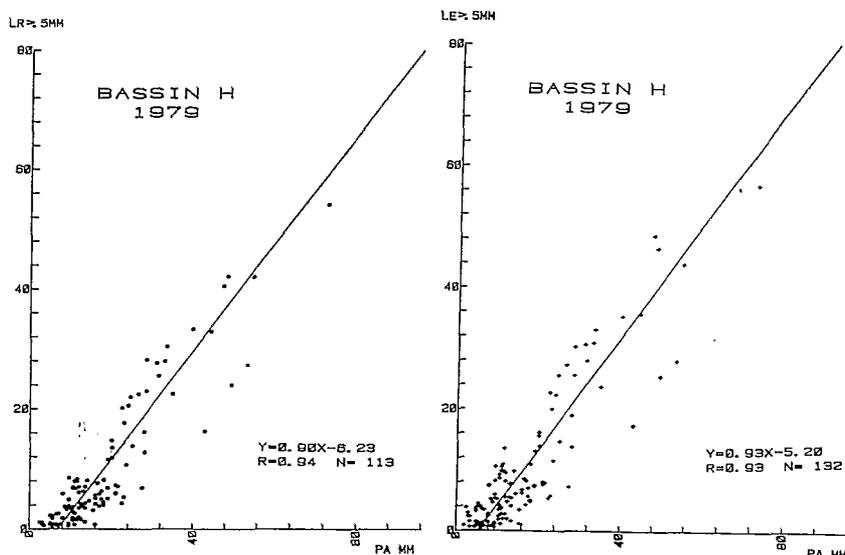


FIG.3 *Lame ruissellée Lr (mm) et lame écoulée Le (mm) par averse.*

rétenion de la pluie par la forêt est quasi-nulle au cours d'une série d'averses de saison des pluies, bien que cette interception représente finalement 15% du total pluviométrique à l'échelle d'une année (Roche, 1980).

Le ruissellement à l'échelle de "l'averse-crue" conserve le même ordre de grandeur selon une relation $Lr = 0.90 Pac - 6.2$, c'est-à-dire que ces coefficients de ruissellement pour les mêmes limites d'averses à 25 et 100 mm varient entre 65 et 84%.

Rappelons que la pluie des averses Pac n'a fait l'objet d'aucune troncature de type "pluie efficace" et qu'il s'agit bien de toute la pluie tombée immédiatement avant et pendant la crue. Cependant, il faut constater que l'année 1979 sans revêtir de caractère très exceptionnel présente des conditions tout à fait favorables pour l'écoulement: cinq mois consécutifs les plus abondants en 1979 ont un total des pluies d'averses de 1865 mm, alors qu'en 1978 cette valeur n'était que de 729 mm.

De manière caractéristique dans ce milieu forestier, les transports solides par suspension constituent le mécanisme prédominant de l'érosion mécanique.

Considérant les transports solides par charriage, nous constatons que la fosse à sédiments, située à l'amont du déversoir a capté seulement 52 kg de matières minérales sèches au cours de l'année 1979, dont nous avons dit que le ruissellement y avait été particulièrement favorisé. Le climax se situe probablement encore en deçà de cette valeur au vu des dépôts des six premiers mois de l'année 1980 précédant le déforestation, au cours desquels 3 kg de terre seulement sont restés piégés dans la fosse.

En 1978, ce chiffre était de 128 kg, valeur forte évidemment due à des remaniements du lit à proximité du déversoir, suite aux travaux de construction de celui-ci.

Si les transports solides par charriage constituent un épiphénomène

dû surtout à des manifestations aléatoires telles que la chute d'un arbre ou l'activité animale (rongeurs, grosses fourmilières), les transports solides par suspension peuvent d'une certaine manière être mis en rapport avec l'écoulement.

En terme de flux global, l'exportation par cette filière s'établit à 362 kg ha⁻¹ en 1978, 566 kg en 1979 et 313 kg de janvier à juin 1980, ce qui laisse présupposer une moyenne interannuelle de l'ordre de 40 t km⁻²an⁻¹.

Ces chiffres tiennent compte à la fois des débits solides mesurés au cours des crues ayant fait l'objet de prélèvements d'eau et de ceux qui ont dû être reconstitués à partir de relations établies année par année du type de celle représentée pour l'année 1979 (Fig.4), dans laquelle on a mis en régression le volume d'eau écoulé pendant la crue et le débit solide par suspension effectivement mesuré.

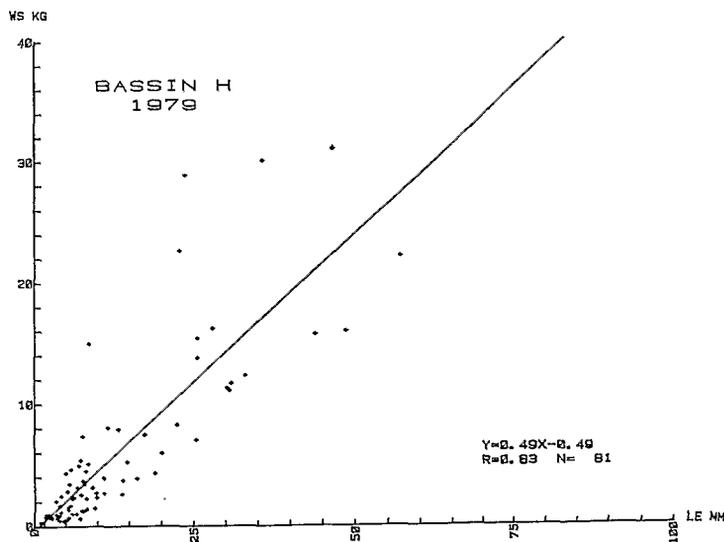


FIG.4 Transports solides en suspension par crue.

On constatera qu'à cette échelle de l'évènement hydrologique élémentaire, la variabilité du transport solide reste élevée pour un même volume de crue. Cette estimation demeure cependant moins mauvaise que celle que l'on obtient à partir de l'indice élaboré de Wischmeier qui intègre pourtant l'énergie cinétique de l'averse et son intensité maximale en 30 min.

La concentration moyenne des 81 crues prélevées a varié entre 10 et 100 mg l⁻¹ d'eau, sans relation directe avec l'écoulement. L'utilisation d'une relation linéaire du type $W_S = f(LE)$ qui admet implicitement l'existence d'une concentration moyenne quasi constante quel que soit le volume de la crue, est donc justifié dès lors que l'on vise à la reconstitution globale du transport solide d'un ensemble de crues.

En l'occurrence on obtient la relation:

$$W_S = 0.49 LE - 0.5$$

qui détermine un débit solide de l'ordre de 0.5 kg ha^{-1} par millimètre d'écoulement pour des crues d'importance moyenne avec une concentration solide de 50 mg l^{-1} .

Par symétrie avec l'écoulement (cf. 5), cette relation a aussi été testée à l'échelle mensuelle sur l'ensemble des 30 mois d'expérimentation sous forêt naturelle. La régression apparaît bien meilleure qu'à l'échelle de l'averse (Fig.5(a)), fait en partie dû à la reconstitution sur les crues non observées, ce qui a pour effet évident de réduire la dispersion.

La relation devient:

$$W_s = 0.35 L_e - 9.6$$

et quantifie le transport solide en kg ha^{-1} à partir du débit moyen mensuel d'une bassin sans avoir à considérer individuellement chaque

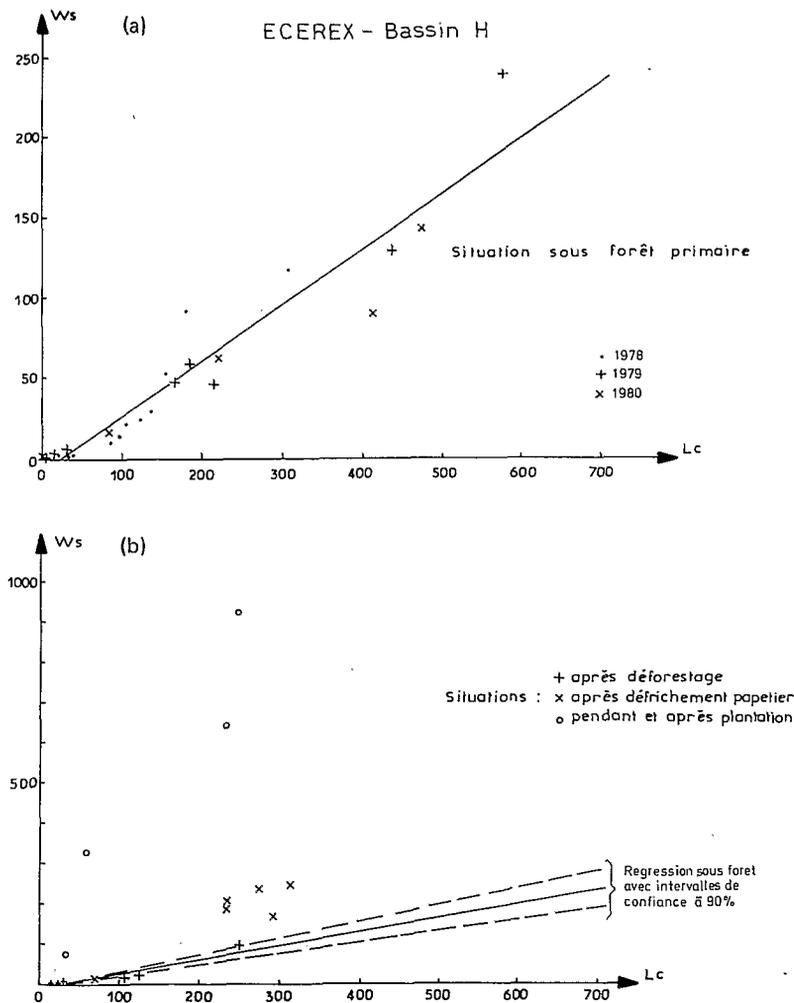


FIG.5 Transports solides par suspension, W_s (kg) en fonction de la lame écoulee L_e (mm) à l'échelle mensuelle.

crue.

L'hétérogénéité de cet échantillon ferait perdre tout sens au calcul d'un intervalle de confiance du type de celui tenté sur l'écoulement. Nous nous sommes contenté de fixer des droites enveloppes à $\pm 20\%$ de la droite de régression, ce chiffre de 20% représentant la précision de l'estimation du débit solide d'une crue par la méthode utilisée des prélèvements ponctuels et planimétrage du "solidogramme". On admettra l'existence d'un changement significatif, dès lors que les points correspondants se situeront à l'extérieur de ce faisceau.

LES MODIFICATIONS DU REGIME HYDRIQUE PENDANT LA MISE EN PLACE DE L'AMENAGEMENT

Rappelons que la première phase d'intervention mécanisée commence en janvier 1981 avec le débardage, et que l'aménagement choisi (plantation d'eucalyptus), mis en place sous le contrôle du CTFT se termine en août de la même année.

L'évolution des écoulements mensuels en 1980 après le déforestation et en 1981 après le débardage est sans équivoque (Fig.2(b)) en termes statistiques: aucune différence significative n'apparaît par rapport à la forêt naturelle, et on pourrait même dire de façon subjective que le bassin écoule moins d'eau sur sol nu que dans l'écosystème naturel.

Nous avons signalé dans l'analyse des crues sous forêt, que l'écoulement ne pourrait augmenter beaucoup avec le défrichement, mais cette stagnation est pour le moins paradoxale dans la mesure où des expérimentations antérieures faites sur un bassin de même taille avaient conclu à une augmentation très sensible (près de 100%!) de l'écoulement annuel (Fritsch, 1981). On ne partait pas il est vrai de la même situation, car le bassin A dont il est question aurait présenté un coefficient d'écoulement annuel de l'ordre de 25% en 1979 à comparer aux 57% sur le bassin présentement étudié.

La situation n'apparaît pas différente si l'on passe à l'étude des crues individuelles; à cette échelle, la répartition des couples lame/pluie plaide en faveur du même type de conclusion, à savoir l'absence de changements significatifs.

Ces régressions en Fig.6(a) pour le ruissellement et en Fig.6(b) pour l'écoulement, et qui sont à rapprocher de celles des Figs.3(a) et (b) aboutissent à des ruissellements et des écoulements par crue légèrement inférieurs à ceux existant sous forêt et au mieux on peut dire qu'elles illustrent des situations semblables compte tenu de la précision de l'estimation.

Le ruissellement par exemple qui s'exprimait par $L_r = 0.90 \text{ Pa} - 6$ sous forêt devient $L_r = 0.77 \text{ Pa} - 4$, ce qui induirait un ruissellement inférieur de 10% sur bassin défriché pour une averse de 50 mm.

La cause essentielle de cette évolution est bien évidemment à mettre en rapport avec la formation incontrôlée de l'andin lors du défrichement tel que nous l'avons décrit (cf. 4). Le bourrelet enserrant le talweg (voir Fig.1) n'a pu que perturber de façon importante l'évolution des écoulements dans le sens constaté d'une diminution de ceux-ci. Cet andin a été progressivement résorbé, par lessivage, puis par brûlis des souches en novembre 1981, et l'indétermination

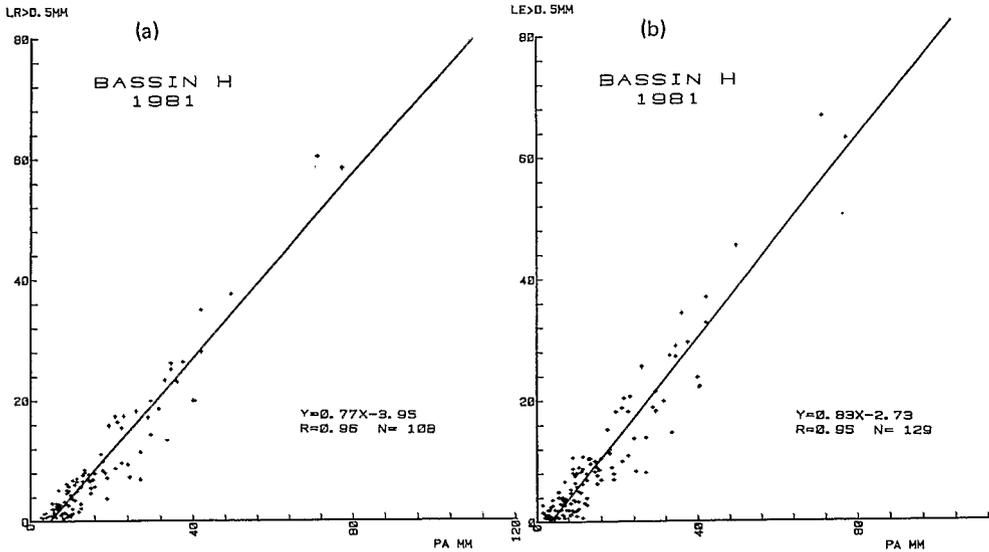


FIG.6 *Lame ruissellée et lame écoulée par averse après défrichement.*

hydrologique pourra sans doute être levée à partir des observations de l'année 1982 pendant laquelle les plants d'eucalyptus n'avaient pas atteint une taille suffisante pour exercer une influence significative sur le comportement du bassin versant.

LES TRANSPORTS SOLIDES A L'EXUTOIRE DU BASSIN AMENAGE

Le charriage qui était en baisse constante depuis la construction du déversoir, marque une légère augmentation à partir du mois d'août 1980 (cf. l'annexe). 23.7kg de sédiments sont extraits de la fosse en août et septembre suite à l'abattage des arbres. Puis aucune augmentation sensible n'accompagne le débardage ou le défrichement puisqu'on récupère seulement 24.5 kg de terre en janvier et mai et cela malgré des pluies mensuelles de 445 mm en février, 413 mm en avril et 400 mm en mai!

Il y a une disjonction complète et presque incroyable entre la situation au déversoir et celle du bassin, ou à quelques mètres seulement des engins de 32 t déplacent des centaines de mètres cubes de terre! Les quelques ares de bas-fond situés immédiatement à l'amont du déversoir non parcourus par les engins aurait suffi à capter et à retenir la fraction sableuse du débit solide.

Il faut attendre le mois de juin pour voir arriver des sédiments en quantité notable, 292 kg, puis 2572 kg en juillet. Cette pointe correspond à la phase de plantation des eucalyptus qui comporte l'enlèvement manuel des débris laissés par le tracteur et surtout le creusement des 1300 trous destinés à recevoir les plants. Finalement cet afflux de terre relativement peu important cesse et ne reprend pas, même avec le retour de la saison pluvieuse en décembre (234 mm de lame pour 410 mm de pluie), puisqu'on recueille seulement 19 kg ce mois là.

Les transports solides par suspension n'amorcent aucune remontée après le déforestation de juin-juillet 1980. On reste à quelques kilogrammes ou quelques dizaines de kilogrammes par mois, tout à fait dans les limites établies pour les suspensions sous forêt, ainsi qu'en témoignent les signes "+" portés sur la Fig.5(b), qui correspondent aux mois de juillet à décembre 1980.

Les chosent évoluent nettement à partir du débordage et l'on passe de l'échelle de la dizaine à celle de la centaine de kilogrammes de suspensions pour les mois à fortes précipitations: 206 kg en janvier, 240 kg en février et 237 kg en avril. Les observations relatives à ces cinq mois de janvier à mai sont notées avec le symbole "X" et constituent un groupe bien détaché.

Puis avec le début des plantations, on assiste à une nouvelle augmentation avec 643 kg en juin, 925 kg en juillet et 329 kg en octobre (points notés "O"). Les transports solides du mois de décembre régressent pour se situer dans le groupe du premier semestre antérieur à la plantation.

A partir de cette constatation, on a abordé l'étude des débits solides crue par crue en séparant les deux phases précédemment individualisées: juin à octobre (Fig.7(b)) et reste de l'année (Fig.7(a)).

Selon les estimations calculées sur ces deux échantillons on aurait l'évolution suivante:

- bassin en cours de défrichement: $W_s = 1.14 Le - 1.6$
- pendant la plantation: $W_s = 5.52 Le - 9.9$
- alors que l'on avait obtenu
- bassin sous forêt naturelle: $W_s = 0.49 Le - 0.5$

Ces relations déterminent l'existence d'un facteur 2.3 entre milieu naturel et défrichement et d'un facteur 11 entre forêt et phase de plantation.

A la fin de l'année, ce sont en définitive 3 t de sédiments qui

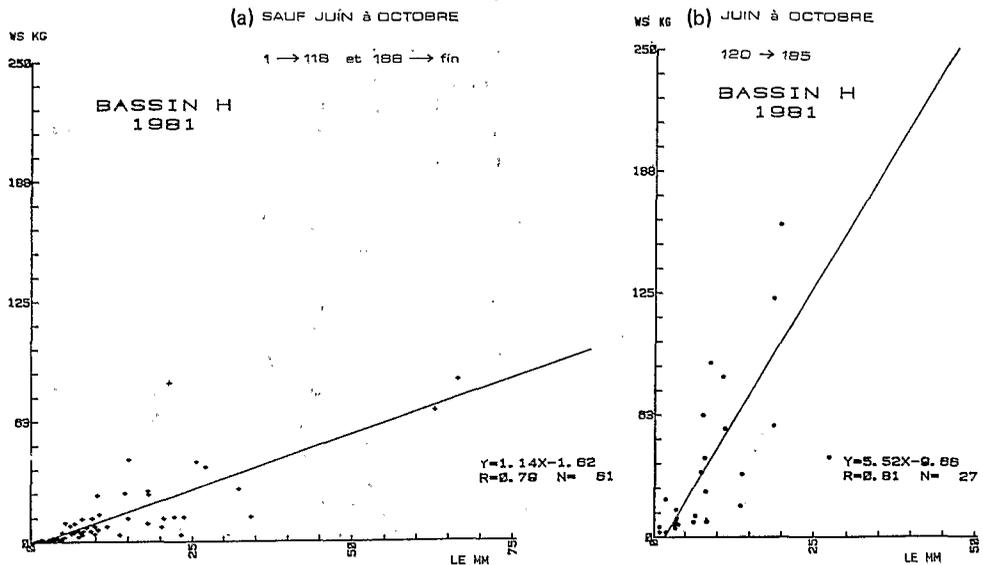


FIG.7 Transports solides en suspension par crue après le défrichement.

ont été exportés en suspension hors du bassin versant. On est passé ainsi de $40 \text{ t km}^{-2}\text{an}^{-1}$ à $300 \text{ t km}^{-2}\text{an}^{-1}$ soit un facteur de 7.5 entre les deux situations. Là encore, comme pour l'écoulement, on peut penser que la présence de l'andin a pu perturber le débit solide, tout comme l'existence d'un bas-fond plat avant le déversoir de mesures. Le facteur multiplicatif du transport par suspension avait en effet été de 20 pour un bassin aménagé en 1979 (Fritsch, 1981).

L'ÉROSION SUR LES VERSANTS DU BASSIN

Deux levés topographiques ont été faites le long des transects bornés, en juin 1980 sous forêt puis en juillet 1981 après le défrichement.

L'analyse prendra en compte exclusivement les portions de versants situées à l'amont du croissant de l'andin, ce qui fera porter notre estimation sur 81% de l'hectare effectivement drainé au niveau du déversoir.

Sur cette surface, il y a globalement un départ de matière sur tous les transects, sauf un, comme le montre le Tableau 1.

TABLEAU 1

Transect	B2-B1	B2-B3	B6-B5	B6-B7	B9-B10	B9-B8	B13-B12	B13-B14
Erosion moyenne (mm)	24	0	117	62	90	96	75	86
Erosion maximale ponctuelle	120	10	225	150	265	310	190	290

La position des transects sur le bassin et l'érosion correspondante, ont été également reportés sur la Fig.1. L'estimation globale de l'érosion sur le bassin a été tentée en affectant à la moyenne de chaque transect une surface présentant des caractéristiques de pente semblables.

Cette démarche permet d'avancer le chiffre de 656 m^3 pour le volume des matériaux pédologiques déplacés sur 8100 m^2 de versants, soit une ablation moyenne sur le bassin de 8 cm alors qu'en haut de versant les décapages atteignent 15 à 30 cm.

En termes de dégradation spécifique, ceci représente environ 1000 t de terre en prenant une densité en place de 1.5 pour les horizons superficiels, c'est-à-dire que les remaniements à l'intérieur même d'un bassin élémentaire se chiffrent à $120\,000 \text{ t km}^{-3}\text{an}^{-1}$.

On est bien loin des 3 t de suspensions et des 2.9 t de charriage effectivement exportés hors du bassin! Un chiffre intermédiaire intéressant à considérer ici, est celui de l'érosion provoquée sur une parcelle expérimentale de 100 m^2 (20 x 5 m) située à quelques centaines de mètres du bassin, désherbée et ratissée selon le

protocole préconisé par Wischmeier. Sur ce dispositif, l'érosion sur une année, c'est-à-dire la quantité de matériaux exportés en dehors de la parcelle, s'établit à 109 t ha^{-1} sur une pente de 11.5% (Sarraich, 1981).

Cette valeur doit être interprétée comme le *potentiel maximal du transport solide* sous les conditions climatiques guyanaises et représente la limite "idéale" de sédiments qu'un bassin pourrait exporter en un an, en l'absence de rupture de charge dans le fond de talweg.

Finalement, en ramenant tous ces résultats à l'échelle de notre bassin d'un hectare, on peut quantifier les phénomènes d'érosion et de transports solides mécaniques de la façon suivante:

- | | |
|--|--|
| (a) forêt naturelle: | $0.5 \text{ t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$ |
| (b) transports solides à l'exutoire du bassin versant pendant la mise en place de l'aménagement: | $6 \text{ t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$ |
| (c) transports solides sur parcelle de Wischmeier: | $100 \text{ t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$ |
| (d) remaniements sur le bassin lors de l'aménagement: | $1000 \text{ t ha}^{-1}\text{an}^{-1}$ |

CONCLUSIONS

Outre l'obtention des données physiographiques qui ont été présentées, cette expérimentation comporte un certain nombre d'enseignements méthodologiques.

Une première conclusion est la nécessité d'un protocole de transposition à l'échelle de l'hectare de techniques d'exploitation sauvages qui affectent normalement des surfaces d'un seul tenant d'ordre kilométrique. La technique de déforestation et de défrichement doit bien entendu rester ce qu'elle est sur les versants, mais il s'impose une intervention complémentaire destinée à laisser les fonds de talweg dans un état artificiel standard comparable de bassin à bassin. Faute de quoi, l'expérimentation ne porte plus sur un hydrosystème donné, mais sur une surface terrassée de manière aléatoire.

Il faut donc absolument prévoir de 'jardiner' les abords du collecteur en saison sèche à l'aide d'un engin léger (tracteur à chenille type D4).

Cette reproductibilité de l'expérimentation étant assurée, la comparaison des écoulements avant et après et de bassin à bassin, gardera tout son sens. Par contre, en ce qui concerne les transports solides, la notion de flux à travers une section de contrôle, en l'occurrence l'exutoire du bassin versant, ne rend plus compte que de façon très indirecte de l'érosion. Cette restriction peut être quantifiée de la façon suivante: le colluvionnement sur le bassin est 10 fois supérieur aux possibilités idéales maximales du transport solide selon Wischmeier. En réalité, avec 6 t de suspensions et de charriages pour l'année, le transport solide a été de fait 17 fois plus faible que cette limite. Ce facteur 17 est susceptible de

diminuer sensiblement avec le protocole que nous avons préconisé, puisque nous avons obtenu un rapport 9 sur un bassin défriché en saison sèche, mais en tout état de cause, les débits solides qui ont représentés 0.6% des remaniements ne sont pas susceptibles de dépasser quelques pour cents de ceux-ci.

Un suivi par placettes sur les versants paraît donc indispensable pour compléter la surveillance qui s'exerce au droit du déversoir.

REFERENCES

- Boulet, R. (1979) Méthode d'analyse et représentation des couvertures pédologiques de BV ECEREX. *Bulletin de liaison DGRST n° 1*.
- Fritsch, J.M. (1981) Ecoulement et érosion sur les bassins versants ECEREX en 1979. *Bulletin de liaison DGRST n° 4* (mai 1981). 23-46.
- Guiraud, A. (1969) Etat d'avancement des travaux du CTFT. *Bulletin de liaison DGRST n° 2* (avril 1979), 21-26.
- Lesaire, J.P., Puig, H., Riera, B., Beekman, F., Beneteau & Leclerc, D. (1982) La phytomane épigée de la forêt dense en Guyane Française. *Bulletin de liaison DGRST n° 6* (mai 1982), 77-118.
- Roche, M. (1967) Recherche d'un hydrogramme standard. *Cah. ORSTOM Série Hydrol. IV (1)*, 27-44.
- Roche, M.A. (1979) Objectifs et méthodologie d'étude sur l'hydrologie et l'érosion des BV ECEREX. *Bulletin de liaison DGRST n° 1*
- Roche, M.A. (1980) Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier tropical humide à ECEREX en Guyane. ORSTOM, Cayenne.
- Sarrailh, J.M. (1982) Premières observations sur les pâturages des parcelles de ruissellement et d'érosion. *Bulletin de liaison DGRST n° 6* (mai 1982), 7-18.

ANNEXE

SUIVI DU BASSIN VERSANT H. PROGRAMME ECEREX EN GUYANE FRANCAISE

1978

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P	306	227	207	274	303	308	283	319	107	96	88	588	3102
Pac	104	128	86	173	68	224	178	245	27	30	23	422	1708
Le	98	122	39	105	85	136	177	153	35	10	1	308	1269
Ke	32,0	53,7	18,8	38,3	28,1	44,2	62,5	48,0	32,7	10,4	1,1	52,4	40,9
Lr	(42)	53	12	70	28	61	108	103	4	2	.3	246	729
Kr	13,7	23,3	5,8	25,5	9,2	19,8	38,2	32,3	3,7	2,1	.3	1,8	27,0
Krac	40,4	41,4	14,0	40,5	41,2	27,2	60,7	42,0	14,8	6,7	1,3	58,3	42,7
Wc	0	2,5	0	3,8	2,4	4,6	95,5	2,6	14,4	0	2,4	0	128
Ws	14,5	23,2	1,8	20,6	9,8	29,1	92,3	52,5	.2	0	0	118	362
IW	56,1	45,4	41,9	57,0	39,0	68,4	155	118	21,2	17,1	22,7	179	821

1979

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P	274	99	631	692	329	291	289	187	40	17	116	264	3229
Pac	187	35	556	596	245	233	235	147	0	0	0	77	2311
Le	104	16	439	573	215	185	165	100	6	0	0	33	1836
Ke	38,0	16,2	69,6	82,8	65,3	63,6	57,1	53,5	15,0	0	0	12,5	56,9
Lr	49	3	363	398	98	82	77	58	0	0	0	27	1155
Kr	17,9	3,0	57,5	57,5	29,8	28,2	26,6	31,0	0	0	0	10,2	35,8
Krac	26,2	8,6	65,3	66,8	40,0	35,2	32,8	39,5	0	0	0	35,1	50,0
Wc	2,0	.3	15,3	7,2	.8	14,7	10,1	.7	0	0	0	.7	52
Ws	16,6	2,0	129	240	45,7	58,3	47,3	22,5	0	0	0	5,0	566
IW	53,5	12,6	250	219	54,2	77,7	63,8	60,4	4,2	.8	26,0	51,7	873

↓ Déforestation

1980

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P	269	14	294	475	656	491	345	167	25	144	171	285	3336
Pac	172	0	74	340	542	466	306	143	20	97	27	216	2403
Le	82	3	17	219	471	412	250	107	23	31	20	124	1758
Ke	30,5	21,4	5,8	46,1	71,8	83,9	72,5	64,1	91,0	21,5	11,7	43,5	52,7
Lr	56	0	3	157	267	217	126	42	.7	21	3	47	940
Kr	20,8	0	1,0	33,1	40,7	44,2	36,5	25,1	2,8	14,6	1,8	16,5	28,2
Krac													
Wc	.8	0	1,4	.6	.3	0	.2	23,7	0	0	0	1,5	29
Ws	16,4	0	1,4	62,5	143	89,8	46,9	12,2	.2	5,9	.8	19,4	399
IW	87,4	.3	36,9	146	172	130	153	63,9	4,1	31,8	21,3	54,7	901

↓ Débardage

↓ Défrichement

↓ Plantation

1981

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
P	337	445	73	413	400	395	339	90	26	128	70	410	3122
Pac	278	340	35	330	327	320	314	58	0	125	0	301	2428
Le	234	312	70	275	292	232	247	33	0	56	0	234	1985
Ke	69,4	70,1	95,9	66,6	73,0	58,7	72,9	36,7	0	43,8	0	57,5	63,6
Lr	124	184	10	160	168	137	154	14	0	51	0	165	1167
Kr	36,8	41,3	13,7	38,7	42,0	34,7	45,4	15,6	0	39,8	0	40,2	37,4
Krac	44,6	54,1	28,6	48,5	51,4	42,8	49,0	24,1	0	40,8	0	54,8	48,1
Wc	8,1	2,0	.7	6,1	7,6	292	2572	34,2	0	19,6	0	18,8	2916
Ws	206	240	7,6	237	168	643	925	76,5	0	329	0	190	3002
IW	72,7	95,2	7,5	125	98,6	121	139	14,5	2,3	(13,5)	3,1	86,2	779

P : pluie totale (mm) - Pac : pluie des averses ayant provoqué un écoulement (mm) -
 Le : lame écoulée totale (mm) - Ke : coefficient d'écoulement global (%) -
 Lr : lame ruisselée (mm) - Kr : coefficient de ruissellement global (%) -
 Krac : coefficient de ruissellement des pluies d'averses (%) - Wc : transports solides par charriage (Kg/ha) - Ws : transports solides par suspension (Kg/ha) -
 IW : indice d'érosivité de Wischmeyer (RUSA)