

De la parcelle au petit bassin-versant: effet d'échelle dans l'écosystème forestier amazonien

J. M. FRITSCH

ORSTOM, B.P.165, 97323 Cayenne, Guyane
Française

P. L. DUBREUIL

ORSTOM, 213 rue Lafayette, 75480 Paris cedex
10, France

J. M. SARRAILH

C.T.F.T., B.P.116, 97310 Kourou, Guyane
Française

RESUME On compare les écoulements d'une parcelle (400 m²), de bassins-versants élémentaires (environ 1.5 ha) et d'un petit bassin-versant (4.5 km²) situés sur le même substratum géologique, en forêt tropicale humide. Le ruissellement annuel de la parcelle est de 8.8% et celui du petit bassin de 23% (1981), différence s'expliquant par l'analyse des systèmes pédologiques. Les écoulements des bassins élémentaires peuvent être semblables à ceux de la parcelle ou du petit bassin, selon le stade d'évolution de leur couverture pédologique.

From the plot to the watershed: scale effect in the Amazonian forest ecosystem

ABSTRACT Comparisons are made between surface runoff on a plot (400 m²), on elementary drainage basins (0.15 km²) and on a small drainage basin (4.5 km²), all three on weathered shales and under tropical rain forest. Annual runoff on the plot was 8.8% of total rainfall in 1981, while small basin quickflow was 23%. The difference appears to result from soil properties. Elementary basin yield may be close to that of the plot or the small basin, depending on the evolution stage of pedologic cover. The variable source area concept is applicable in this region, for understanding scale effects.

LE CADRE PHYSIQUE ET CLIMATIQUE

Le dispositif d'étude

Commencé en 1977, le projet ECEREX avait pour but, à partir de la connaissance de l'écosystème forestier naturel en Guyane Française, l'étude des comportements de ce milieu après défrichement et aménagement.

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

N° : 41605

Cpte : B

07 JUL 1983

La région étudiée, située par 5° 15' N et 53° W, appartient à l'ensemble écologique amazonien. Les aspects hydrologiques et pédologiques du programme ont été pris en charge par l'Institut Français de Recherche Scientifique pour le Développement en Coopération (ORSTOM) et le Centre Technique Forestier Tropical (C.T.F.T.) (Sarrailh, 1984).

La géomorphologie et les sols

La zone des bassins-versants est située sur un substratum géologique de terrains sédimentaires anciens, le schiste de Bonidoro. Le modelé est constitué d'unités hydrographiques très petites, de quelques hectares. L'altitude des sommets est de l'ordre de 60 mètres. Les pentes des versants oscillent entre 20% et 35% et celles des talwegs élémentaires entre 8% et 15% .

Le comportement hydrologique des sols varie selon le stade atteint par l'évolution pédologique, à partir d'une couverture initiale (Boulet, 1983; Boulet et al, 1984). On peut le caractériser sommairement de la façon suivante:

Stade I La couverture pédologique initiale est bien conservée. L'horizon de surface est poreux, à structure microagrégée, épais de plus de 1.5 mètres, et surmonte des horizons plus compacts. L'infiltration de l'eau dans cet horizon superficiel est très rapide et le coefficient de ruissellement annuel moyen peut être aussi faible que 5% (Roche, 1982a). Ces sols à drainage vertical libre sont peu fréquents dans la zone de l'étude, et subsistent à l'état de lambeaux sur les parties amont des interfluves.

Stades II et III Lorsque l'horizon supérieur s'amincit en deçà de un mètre environ, des saturations se produisent à sa base au contact des horizons moins perméables sous-jacents et une circulation latérale de l'eau s'installe, induisant une porosité dans le sens de la pente. Le fort ralentissement du drainage vertical génère des écoulements hypodermiques rapides et soutenus et des ruissellements fréquents et importants. Cette dynamique, dite à drainage superficiel et latéral affecte d'abord la partie basse des versants (c'est le stade II), puis peut se généraliser à l'ensemble d'un bassin élémentaire, du talweg jusqu'à la ligne de partage des eaux. Le stade III de l'évolution pédologique est alors atteint. Le ruissellement annuel est 4 fois plus élevé sur ces types de sols que sur ceux à drainage vertical précédemment décrits. Des coefficients de ruissellement par averse dépassant 50% ne sont pas rares.

Stade IV La partie aval des bassins élémentaires et les fonds de vallées des petits bassins-versants peuvent être le domaine d'une nappe lorsque la couverture pédologique à dynamique latérale atteint le niveau phréatique général. Dans les conditions pédologiques du stade IV les bassins-versants présentent des écoulements de base qui peuvent être permanents entre les crues et ces zones de nappe affleurante confèrent aux bassins-versants des aptitudes au ruissellement tout à fait exceptionnelles, avec par exemple, des coefficients de ruissellement par averse supérieurs à 75% neuf fois par an, un

ruissellement annuel qui représente de 30% à 35% de la pluie et un écoulement global de l'ordre de 45% de celle-ci.

Le régime pluviométrique

La moyenne pluviométrique interannuelle sur le site est de 3255 millimètres. Le régime est du type équatorial de transition avec deux périodes pluvieuses distinctes: un premier épisode en décembre-janvier qui reçoit environ 600 mm, et "la grande saison des pluies" qui dure de fin mars à juillet, avec environ 2080 mm. Une saison sèche s'étend de fin août à fin novembre pendant laquelle aucun mois ne reçoit plus de 100 mm, l'évapotranspiration potentielle est supérieure à la pluie et le ruissellement ne s'observe que très exceptionnellement.

CARACTERISTIQUES ET MODALITES D'EXPLOITATION DU DISPOSITIF D'ETUDE

La parcelle

La parcelle A, mesure 40 mètres dans le sens de la pente par 10 mètres de largeur. Le profil du versant est convexe avec une pente passant de 18% à 35%. L'évolution pédologique est au stade III. La parcelle est couverte par la forêt primaire. Les écoulements superficiels sont captés dans des cuves métalliques séparées par des partiteurs à fentes. Les relevés volumétriques et pluviométriques ont lieu tous les matins à 8 heures.

Le bassin élémentaire B

Le bassin élémentaire B, situé à moins de 500 mètres de la parcelle, draine 1.6 hectares. L'évolution pédologique est au stade III sur plus de 90% de la surface, un petit lambeau de sol perméable à drainage vertical (stade I), occupant la tête du bassin-versant. La pente maximum des versants est de 17% et celle du talweg de 8%.

La forêt primaire recouvre ce bassin utilisé comme témoin naturel pour 4 bassins expérimentaux voisins. Les conditions de sol et de couvert végétal de la parcelle et du bassin élémentaire sont donc très semblables. Les débits sont calculées à partir des enregistrements graphiques des hauteurs d'eau sur un déversoir en V à 35°.

Le bassin élémentaire F

Le bassin élémentaire F ne comporte pas de sols perméables au stade I. Les sols à drainage bloqué occupent 96% de la surface, et les zones de nappe 4%.

Le petit bassin-versant

Les mesures hydrologiques deviennent très difficiles à l'échelle kilométrique par suite de l'extension des lits majeurs en période de crue. Néanmoins, on a pu équiper un site sur la crique Délices qui contrôle une surface de 4.5 km², et sur lequel les débits ont pu être mesurés avec une précision acceptable. Ce bassin-versant inclut cinq bassins élémentaires expérimentaux dont le bassin B, ainsi que la parcelle A (Fig.1).

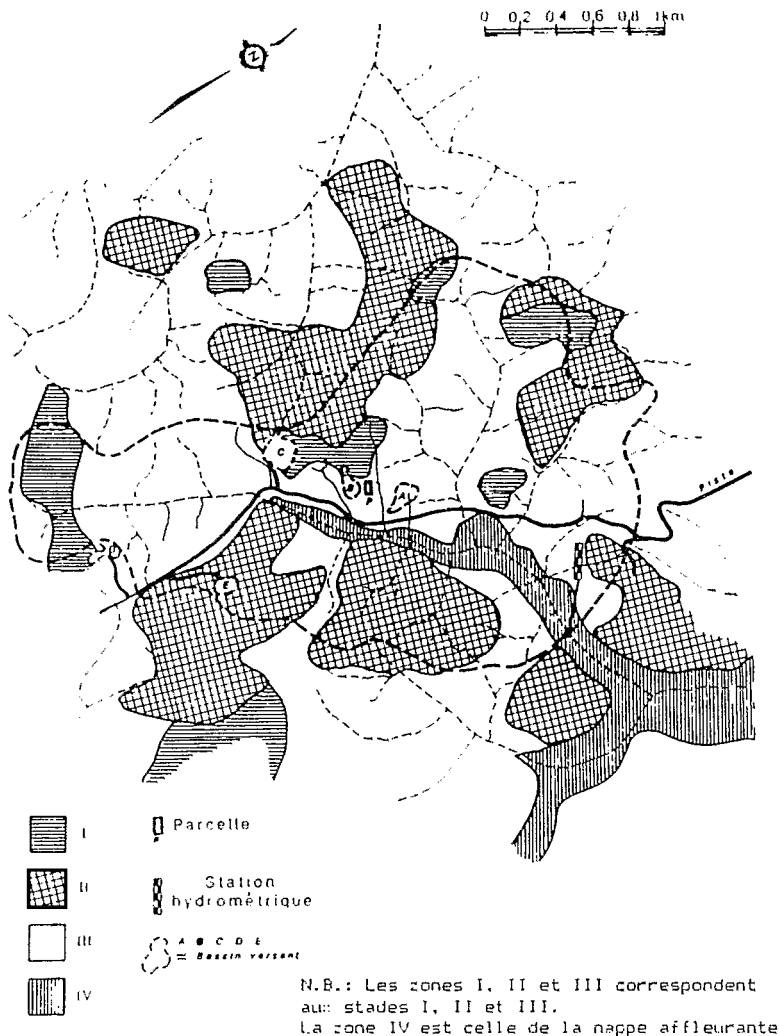


FIG.1 Bassin-versant de la crique Délices. Stades d'évolution pédologique.

En 1981, année sur laquelle va porter la comparaison inter-bassins, la couverture forestière sur le bassin de la crique Délices était intacte, à l'exception de 5 clairières ouvertes pour les mesu-

res pluviométriques, de 4 bassins élémentaires défrichés en 1979-1980 et de la zone d'emprise d'une piste qui traverse le bassin-versant. L'ensemble de ces défrichements représente environ 25 hectares, c'est à dire 5% de la surface du bassin. Le ruissellement augmente considérablement après défrichement, dans des rapports de 1.5 à 3.3 selon le type pédologique (Fritsch, 1986), mais la proportion des terres déboisées reste tolérable pour l'objet de cette étude.

Les sols imperméables au stade d'évolution III dominent sur ce bassin-versant (54.5%). Le stade II, favorisant le ruissellement dans la partie basse des versants, représente 25.9% du bassin. La zone de bas-fonds où le talweg s'incise dans le magasin de nappe phréatique, situation de stade IV, occupe 7.4% de la surface drainée à la station hydrométrique. Les sols perméables à drainage vertical libre ne comptent que pour 12.2% de la surface totale (Fig.1).

COMPARAISON DES ECOULEMENTS DE LA PARCELLE ET DU BASSIN-VERSANT ELEMENTAIRE B

Comparaison à l'échelle annuelle

Il n'y a pas d'écoulement permanent sur le bassin B. Chaque épisode pluvieux génère des crues pour lesquelles on a séparé graphiquement les volumes d'écoulement rapide (Rb) de l'ensemble des écoulements de crues (Eb) selon la méthode de Dunne (1978). L'écoulement rapide Rb est appelé ruissellement dans la suite de cet article. Cette méthode n'a pu être utilisée pour la parcelle A, pour laquelle on connaît seulement le cumul des volumes journaliers (Ep). Le Tableau 1 compare différents types d'écoulements annuels de la parcelle A et du bassin B. Les coefficients K sont le rapport des volumes écoulés ou ruisselés avec la pluviométrie.

TABLEAU 1 Pluviométrie et écoulements sur la parcelle et le bassin élémentaire B de 1979 à 1981

Période	Parcelle A				Bassin-versant B			
	Pp mm	Ep mm	Kep %	Pb mm	Eb mm	Keb %	Rb mm	Krb %
02-79 à 08-79	2493	577	23.1	2567	608	23.7	526	22.2
09-79 à 08-80	3182	489	15.4	3090	460	14.9	399	12.9
09-80 à 08-81	<u>2946</u>	<u>259</u>	8.8	<u>2836</u>	<u>260</u>	9.2	<u>232</u>	8.2
total 79-81	8621	1325	15.4	8493	1328	15.6	1157	13.6

Pp et Pb : pluie totale sur la parcelle et le bassin B.

Ep et Eb : lame écoulée sur la parcelle et lame écoulée pendant les crues sur le bassin.

Kep et Keb : coefficients d'écoulement de Ep et Eb.

Rb et Krb : lame ruisselée et coefficient de ruissellement du bassin.

Sur les courbes de simples-cumuls on constate une évolution parallèle assez remarquable des paramètres E_p et E_b (Fig. 2) et cette situation se maintient pendant toute la période 1979-1981 dans des conditions pluviométriques très diverses: une saison des pluies bien arrosée (1979), une année hydrologique proche de la normale (1979-80) et une année déficitaire (1980-81).

Au terme de trois saisons hydrologiques, l'écart entre les deux dispositifs n'est que de 3%. La courbe des simples-cumuls du ruissellement du bassin (R_b) - non représentée - suit de façon tout aussi fidèle celle de l'écoulement de la parcelle, en restant cette fois légèrement inférieure à celle-ci.

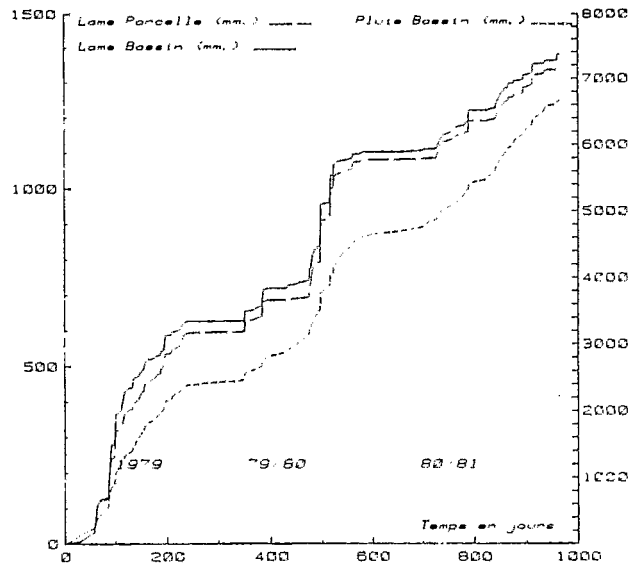


FIG.2 Courbes de simples-cumuls des écoulements de la parcelle et du bassin R.

Comparaison des écoulements à l'échelle journalière

On a constitué des couples X-Y, avec en abscisses, les écoulements recueillis chaque jour à 8 heures à l'exutoire de la parcelle et en ordonnées, les écoulements mesurés sur le bassin élémentaire pendant ces mêmes 24 heures. Les écoulements des deux dispositifs peuvent être cumulés sur plusieurs jours lorsque le bassin était en crue à l'instant du relevé de la parcelle. Une régression linéaire sur 190 des couples X-Y ainsi formés de février 1979 à août 1981 (Fig.3) génère une courbe qui suit de très près la première bissectrice ($X=Y$). Ce résultat, venant confirmer les observations précédentes, ne permet pas de percevoir d'effets dus au changement d'échelle ou aux légères différences pédologiques existantes entre les deux systèmes.

Les figures 4a à 4c présentent les doubles-cumuls chronologiques des deux paramètres E_p et E_b , effectués en années hydrologiques, commençant le 1er septembre (début de la saison sèche) et finissant le 31 août (fin de la "grande saison des pluies").

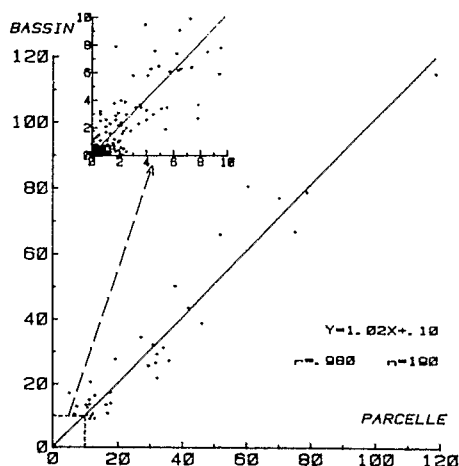


FIG.3 Ecoulements du bassin élémentaire B en fonction de la parcelle, à l'échelle de la crue.

On constate une similitude de comportement dans les parties les plus basses des courbes 4b et 4c, respectivement associées aux saisons 1979-80 et 1980-81. Ces tronçons correspondent à la "petite saison des pluies" de décembre-janvier, au terme de laquelle les écoulements cumulés de la parcelle finissent par dépasser très légèrement ceux du bassin-versant. Ces écarts, tout juste perceptibles sur les graphes, restent très faibles et révèlent une inertie plus grande du bassin-versant dans sa réponse hydrologique aux premières pluies après la saison sèche. Cette situation n'est pas visible sur la courbe 4a de l'année 1979, puisque l'origine des observations se situait en février cette année-là.

Au cours de la période suivante, contemporaine de la grande saison des pluies, les écoulements du bassin dépassent assez nettement ceux de la parcelle. Les différences entre les écoulements cumulés du bassin et de la parcelle atteignent 68 mm en 1979, 14 mm en 1980 et 20 mm en 1981. Ces chiffres expriment cette fois des écarts relatifs sensibles entre les deux dispositifs, soit 14% en 1980, 15% en 1981 et 17% en 1979.

Deux séries d'arguments sont susceptibles d'expliquer ces différences:

(1) En pleine saison des pluies le domaine des sols à drainage vertical, dont la contribution est pratiquement négligeable en d'autres périodes, participe pleinement à l'écoulement rapide du bassin, la pluie dépassant alors le seuil-limite d'infiltration de ces terrains. Ce phénomène permettrait, à lui seul, que les écoulements du bassin "rattrapent" ceux de la parcelle au paroxysme de la saison des pluies.

(2) Une part importante de ces écarts est liée l'existence d'écoulements hypodermiques rapides, caractéristiques des sols du stade III: le bassin-versant est susceptible de recueillir une partie de ceux-ci, qui réapparaissent à l'air libre le long des versants et dans le talweg, ou sont interceptés par les fondations du déversoir et renvoyés dans l'écoulement de surface. Sur la parcelle, la faible longueur du versant (40 mètres) ainsi que l'absence

des restitutions au talweg et au déversoir réduisent la contribution de ces écoulements internes.

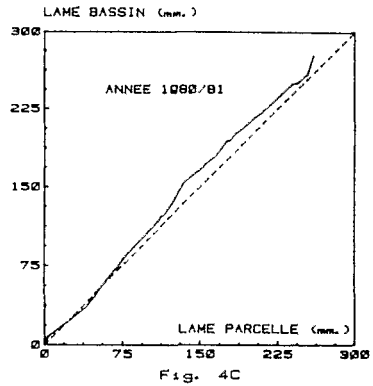
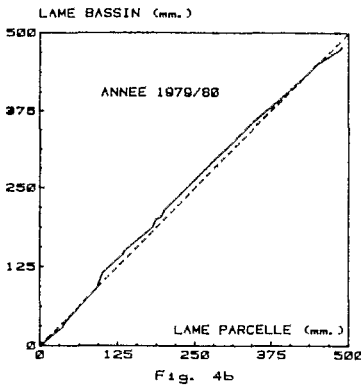
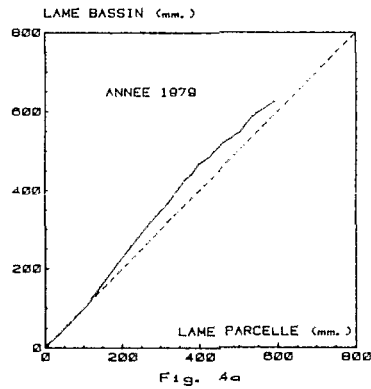


FIG.4 Courbes de doubles-cumuls des écoulements de la parcelle et du bassin élémentaire B.

Ces mécanismes qui ont pour effet d'améliorer le rendement hydrologique du bassin-versant élémentaire mais dont les manifestations ne sont pas perceptibles sur quelques centaines de mètres-carrés, constituent sans aucun doute un "phénomène d'échelle" qui ne peut être mesuré sur une parcelle.

DU BASSIN ELEMENTAIRE AU PETIT BASSIN-VERSANT

Les observations sur la crique Délices (4.5 km²), sont disponibles à partir de janvier 1981. Par suite du déficit pluviométrique, les débordements en lits majeurs n'ont pas été très fréquents ni très importants cette année-là, et le bilan hydrologique a pu être établi et comparé à ceux des bassins élémentaires B et F. (Tableau 2).

La moyenne annuelle de l'évapotranspiration réelle de l'écosystème forestier en Guyane est de 1470 mm (Roche, 1982b). Le déficit d'écoulement à Délices a été de 1708 mm en 1981, indiquant que les termes du bilan à Délices sont très proches des valeurs

régionales. La différence de 238 mm peut s'expliquer par l'utilisation de cette valeur moyenne interannuelle de l'évapotranspiration dans le bilan, ou par l'existence d'un transit souterrain au droit de la station.

TABLEAU 2 Pluie (Pp), écoulement total (E), ruissellement (R) et écoulement de base (B) de 1981 sur la crique Délices, et sur les bassins élémentaires B et F en 1981. (Valeurs en millimètres)

	Pp	E	R	B
Crique Délices	2979	1271	686	585
Bassin B	2952	322	264	58
Bassin F	2904	1153	735	418

La comparaison des données de la crique Délices et du bassin B suggère que des modifications considérables apparaissent dans les termes du bilan lorsque les surfaces drainées atteignent la taille kilométrique. On pourrait donc conclure que l'appréhension et la modélisation de l'écoulement à l'échelle de l'écosystème régional, ne peuvent être atteints qu'à partir de bassins-versants de dimensions kilométriques. Il est donc instructif de comparer le bilan de la crique Délices avec celui du bassin F (Tableau 2). On constate que le régime hydrologique de ce bassin F est calqué sur celui de Délices, avec pratiquement le même écoulement annuel total, un coefficient de ruissellement légèrement supérieur et des débits de base un peu moins importants.

Les variations mensuelles de ces trois catégories d'écoulements viennent confirmer cette impression. Les seules différences notables, visibles sur ces figures, portent sur une meilleure aptitude de l'unité F pour des ruissellements lors d'averses isolées en saison sèche (octobre) et sur une diminution sensible des débits de base du bassin F par rapport à Délices, à partir du mois d'août. Or le bassin F est un bassin élémentaire au même titre que le bassin B, qui draine seulement 1.4 hectares, c'est à dire 320 fois moins que la crique Délices. La convergence des régimes hydrologiques de ces deux bassins-versants de taille très différentes, s'explique par la similitude des stades d'évolution pédologique atteints par chacun d'eux à leur exutoire (stade IV).

Le "grand" bassin comporte quelques sols ruisselant très peu (5% de la pluie annuelle), mais davantage de zones de bas-fonds que le bassin élémentaire F, sur lesquelles le ruissellement en saison des pluies atteint pratiquement 100% de la pluie au sol, d'où des comportements très voisins vis-à-vis du ruissellement.

CONCLUSIONS

On a mis en évidence l'existence d'unités hydrologiques, dont les régimes étaient indépendants de la taille du bassin-versant. Dans ce modelé guyanais sur altérites de schistes, on peut observer les mêmes écoulements sur une parcelle de 400 m² et sur un bassin élé-

mentaire d'environ 1 hectare, ou sur un bassin élémentaire et un petit bassin-versant de quelques km² dont les termes du bilan sont très voisins des valeurs régionales de l'écosystème forestier.

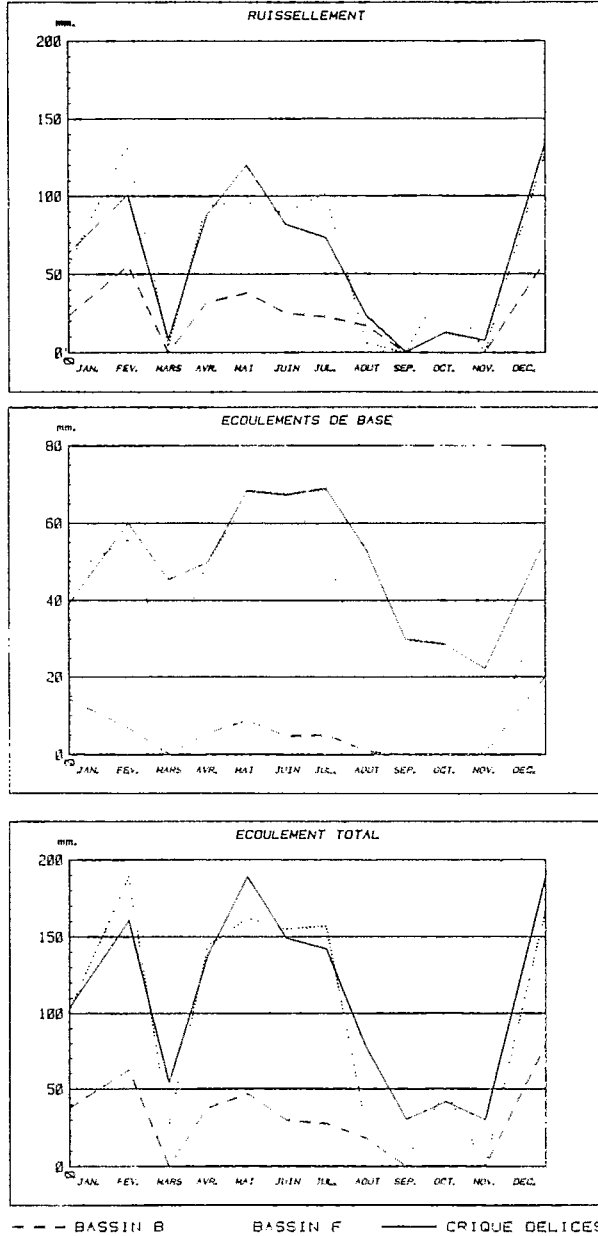


FIG.5 Variations mensuelles du ruissellement, des débits de base et de l'écoulement total sur les bassins élémentaires B et F et la crique Délices en 1981.

Le comportement de ces unités s'explique et peut être prédéterminé, pour peu que des critères pertinents soient adoptés pour

l'identification des sols de ces bassins. Le fonctionnement hydrodynamique des systèmes pédologiques, considérés dans leur ensemble, des talwegs jusqu'aux interfluves, constitue le fondement de ces critères.

Au-delà de son intérêt fondamental, cette conclusion est d'une grande importance pratique pour un programme de bassins-versants expérimentaux comme celui qui se déroule en Guyane Française, car à l'origine, l'ensemble des 10 bassins élémentaires d'un hectare, présentait une dispersion considérable dans les écoulements annuels, avec des lames ruisselées dans des rapports de 1 à 5.5, comprises entre 212 et 1143 mm en 1979 (Fritsch, 1986). Il était donc capital d'identifier correctement cet état initial en fonction des types de sols, pour interpréter les effets du défrichement et des aménagements.

D'autre part, les coûts des aménagements des bassins-versants pèsent extrêmement lourd dans un budget de recherche scientifique. Il est donc extrêmement important de pouvoir simuler les expérimentations sur les plus petites surfaces possibles, tout en maintenant les possibilités d'extrapolation des résultats à des échelles physiques et économiques utilisables.

En ce sens, les bassins expérimentaux élémentaires G et H, apparentés au bassin F, plantés respectivement en pin caraïbe et en eucalyptus, peuvent être considérés comme des intégrateurs assez fidèles. Les résultats recueillis sur ces unités permettraient de prévoir directement le comportement de zones plus vastes de la région. Ce sont des bassins-versants représentatifs, au sens hydrologique habituel.

Par contre, des parcelles, ou des bassins-versants développés sur des sols aux comportements hydrologiques moins dégradés, doivent être considérés comme des composantes analytiques élémentaires pour une transposition à l'échelle micro-régionale. Dans cette voie, la méthodologie de la parcelle est séduisante en milieu tropical humide au niveau de la simplicité d'exploitation par rapport au bassin élémentaire, dont l'enregistrement en continu des pluies et des hauteurs d'eau, est lourd et contraignant.

REFERENCES

- Boulet R. (1983) Organisation des couvertures pédologiques des bassins-versants. Hypothèses sur leur dynamique. in: *Le projet ECEREX - compte-rendu des journées de Cayenne 4-8 mars 1983*, GERDAT, INRA, MUSEUM, ORSTOM, P.23-52.
- Boulet R., Chauvel A., Lucas Y. (1984) Les systèmes de transformation en pédologie. in: *Livre jubilaire du cinquantième de l'A.F.E.S.*, p.167-169.
- Dunne, T. (1978) Field studies of hillslope flow processes. in: *Hillslope Hydrology* (ed. by M.J.Kirkby), p.227-293.
- Fritsch J.M. (1986) L'augmentation du ruissellement après défrichement mécanisé de la forêt amazonienne. Comptes-rendus des XIXièmes journées de l'hydraulique, Paris, Sept. 1986. Société hydrotechnique de France. question I-8.
- Roche M.A. (1982a) Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier amazonien à ECEREX, en Guyane. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, Vol XIX, n°2-1982, p.81-114.



- Roche M.A. (1982a) Evapotranspiration réelle de la forêt amazonienne en Guyane. *Cah. ORSTOM, série Hydrol.*, Vol XIX, n°1-1982, p. 37-44.
- Sarrailh J.M. (1984) Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais - Opération ECEREX : résumé des premiers résultats. *Bois et Forêts des Tropiques*, n°206, p.13-32.