

DE LA PARCELLE AU PETIT BASSIN-VERSANT : EFFET D'ECHELLE DANS
L'ECOSYSTEME FORESTIER AMAZONIEN

J.M. FRITSCH*, P.L. DUBREUIL**, J.M. SARRAILH***

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

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

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

milieu, peuvent être très différents selon le stade actuel atteint par l'évolution pédologique, à partir d'une couverture initiale (R. Boulet, 1983) (R. Boulet et al., 1984), et que l'on peut 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, facilitée par l'orientation verticale de la porosité, est rapide et il faut des conditions pluviométriques exceptionnellement favorables pour que ces terrains arrivent à saturation et perdent leur comportement perméable. On peut citer par exemple un épisode pluvieux de 290 millimètres en moins de 4 jours, (du 20 au 23 décembre 1977), au terme duquel on a pu observer une crue avec un coefficient de ruissellement de 21%, alors que la moyenne interannuelle de ce coefficient sur le même bassin élémentaire n'a été que de 5% en 1977-78 (M.A. Roche, 1982). 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, parallèlement à la surface du versant. 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 et ont été observés 5 fois par an en moyenne sur le bassin élémentaire B.

STADE IV : Enfin, 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 considérés des aptitudes au ruissellement tout à fait exceptionnelles, avec par exemple, des coefficients de ruissellement par averse supérieurs à 75% neuf fois par an et avec un ruissellement annuel qui représente de 30% à 35% de la pluie et un écoulement global de l'ordre de 45% de celle-ci (chiffres constatés au bassin F, moyenne 1978-1983).

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 en tout 596 mm., et "la grande saison des pluies" qui dure de fin mars à juillet, avec 2807 mm., soit 64% du total annuel.

On note l'occurrence d'une véritable saison sèche qui s'étend de fin août à fin novembre. Pendant cette période, 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 RESEAU DE CAPTE

La parcelle, (identifiée comme "Parcelle A" dans le dispositif du C.T.F.T.), mesure 40 mètres de longueur, dans le sens de la pente et 10 mètres de largeur. Le profil du versant est convexe : la pente de 18% à l'amont passant à 35% dans la partie aval. L'évolution pédologique est au stade III, c'est à dire que l'ensemble des sols de cette parcelle présente une dynamique de l'eau latérale et superficielle, toute infiltration profonde au-delà de 30 ou 40 centimètres étant très fortement ralentie par la présence d'un horizon argileux compact.

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.

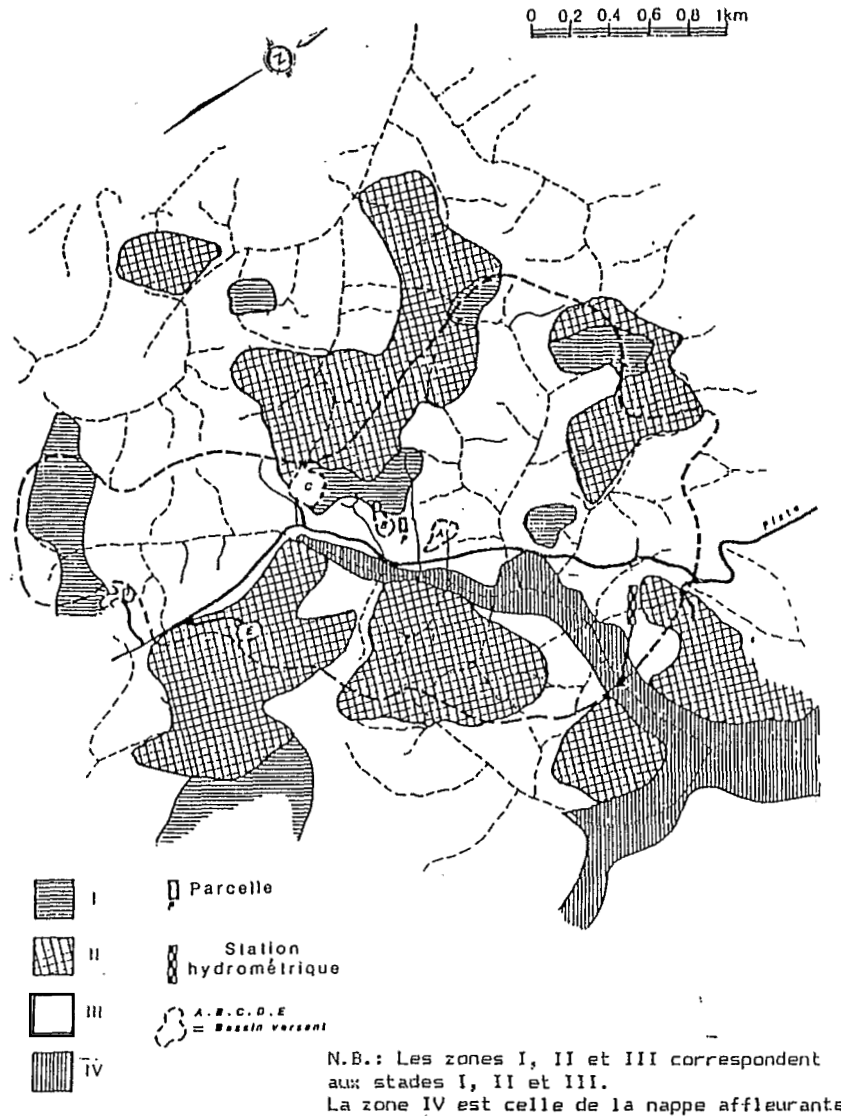


FIG. 1 Bassin-versant de la crique Délices. Stades d'évolution pédologique.

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 mesures pluviométriques, de 4 bassins élémentaires défrichés en 1979-1980 et de la zone d'emprise de la piste de Saint-Elie qui traverse le bassin-versant dans le sens de sa plus grande longueur. L'ensemble de ces défrichements représente environ 25 hectares, c'est à dire 5% de la surface du bassin.

On sait que le ruissellement augmente considérablement après défrichement, dans des rapports de 1.5 à 3.3 selon le type pédologique (J.M. Fritsch, 1986), mais la proportion des terres déboisées reste tolérable pour l'objet de cette étude, surtout si l'on considère que les collecteurs de la rive gauche traversent la piste dans des passages busés qui auraient tendance à freiner l'écoulement, c'est à dire que ces deux perturbations aux conditions naturelles vont en sens contraire et pourraient se neutraliser.

Les sols imperméables au stade d'évolution III dominant sur

ce bassin-versant (54.5%). Le stade II décrit comme très favorable au ruissellement dans la partie basse des versants représente 25.9% et la zone de bas-fonds où le talweg s'incise dans le magasin de nappe phréatique, situation caractéristique du 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

Comparaison à l'échelle annuelle

On peut comparer les écoulements totaux et indifférenciés sur la parcelle (Ep) avec "l'écoulement rapide" du bassin (Eb), c'est à dire avec les volumes écoulés pendant les crues, durant les temps de base des hydrogrammes. On peut également rapporter l'écoulement sur parcelle au "ruissellement pur" du bassin (Rb), différencié selon le critère conventionnel de séparation des écoulements qui admet que les débits retardés varient linéairement entre le début et la fin de la crue (Cf. Tableau 1).

Tableau 1 - Pluviométrie et écoulements sur la parcelle A 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	2946	259	8.8	2836	260	9.2	232	8.2
02-79 à 08-81	8621	1325	15.4	8493	1328	15.6	1157	13.6

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

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 Ep et Eb (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%, en faveur des écoulements du bassin-versant. La courbe des simples-cumuls du ruissellement du bassin (Rb) - non représentée - suit de façon tout aussi fidèle celle de l'écoulement de la parcelle, en restant cette fois légèrement inférieure à celle-ci.

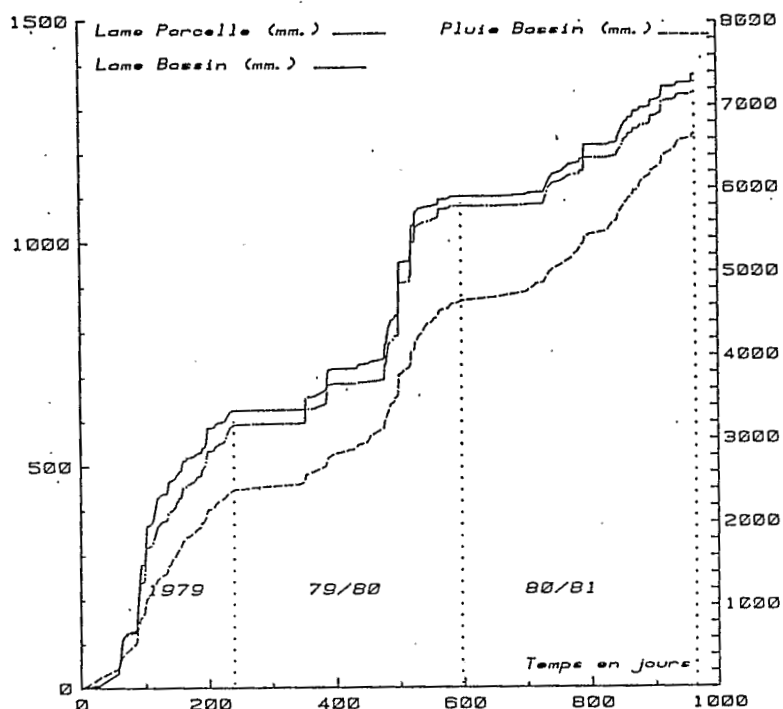


FIG. 2 Courbes de simples-cumuls des écoulements de la parcelle et du bassin B.

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, l'ensemble des écoulements des crues survenues 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.

On obtient par ce procédé 190 événements pour la période allant de février 1979 à août 1981, dont les valeurs respectives sont fortement dépendantes, selon la relation $E_b = 1.02 \times E_p + 0.10$, c'est à dire pratiquement l'équation de la première bissectrice. (Fig. 3).

Ce résultat vient conforter les observations précédentes, de comportements indifférenciés de la parcelle et du bassin élémentaire, qui ne permettent 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").

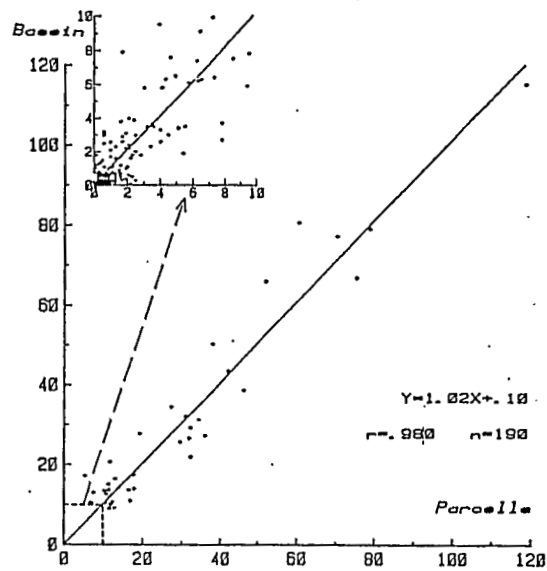


FIG. 3 Ecoulements du bassin élémentaire B en fonction de la parcelle, à l'échelle de la crue.

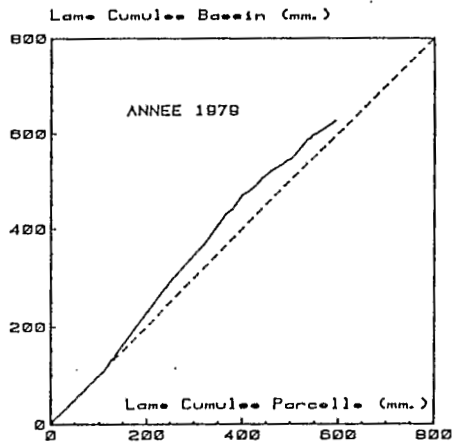


Fig. 4a

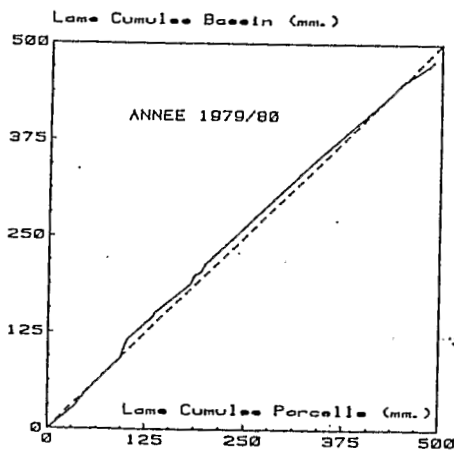


Fig. 4b

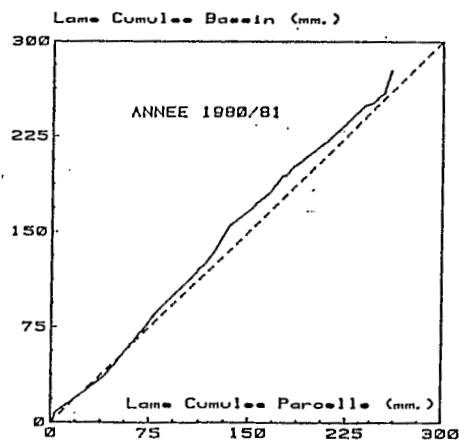


Fig. 4c

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

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 (au maximum 6 mm. en 1979-80 et 4 mm. en 1980-81), 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 courbes de doubles-cumuls recoupent la première bissectrice et se maintiennent "au dessus" de celle-ci jusqu'à la fin de l'année hydrologique. 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, (10% du b.v.), dont la contribution est pratiquement négligeable en d'autres périodes, participe

métrique, 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 celui du bassin élémentaire B. (Cf. Tableau 2).

Tableau 2 Pluie (P1), écoulement total (Le), ruissellement (Lr) et écoulement de base (Lb) sur la crique Délices, et les bassins élémentaires B et F en 1981.
(Valeurs en millimètres)

	P1	Le	Lr	Lb
Crique Délices	2979	1271 42.7%	686 23.0%	585 19.6%
Bassin B	2952	322 10.9%	264 8.9%	58 2.0%
Bassin F	2904	1153 39.7%	735 25.3%	418 14.4%

La comparaison des données annuelles 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: l'écoulement de base est en effet décuplé et passe de 2 à 20% de la pluie, et fait plus surprenant, le ruissellement augmente dans un rapport de 2.6 puisque sa participation dans le bilan croit de 9 à 23%.

On sait que la moyenne interannuelle de l'EvapoTranspiration Réelle (ETR) de l'écosystème forestier en Guyane, assimilé au déficit d'écoulement de bassins-versants de plusieurs milliers de km² (M.A. Roche, 1982), est de 1470 mm., alors que le déficit d'écoulement à Délices a été de 1708 mm. en 1981. Ceci revient à dire que seulement 7% de la pluie annuelle n'est pas prise en compte dans la somme de l'ETR et des écoulements de surface, et que les termes du bilan à Délices sont donc très proches des valeurs régionales. Cette différence peut s'expliquer par l'imprécision attachée à une valeur interannuelle moyenne de l'ETR et aux aléas des mesures hydropluviométriques, ou revient à admettre qu'une lame d'eau de 238 mm. a été évacuée en transit souterrain au droit de la station de jaugeage en 1981.

A ce point de l'analyse, on pourrait 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, qui se doivent d'inclure un réseau hydrographique hiérarchisé qui n'existe pas à l'échelle du bassin élémentaire ou de la portion de versant.

A cet égard, il est instructif de comparer le bilan de la crique Délices avec celui du bassin F (Cf. lignes 5 et 6 du 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 (1153 mm. contre 1271 mm.), un coefficient de ruissellement légèrement supérieur (25% contre 23%) et des débits de base un peu moins soutenus (14% contre 20%).

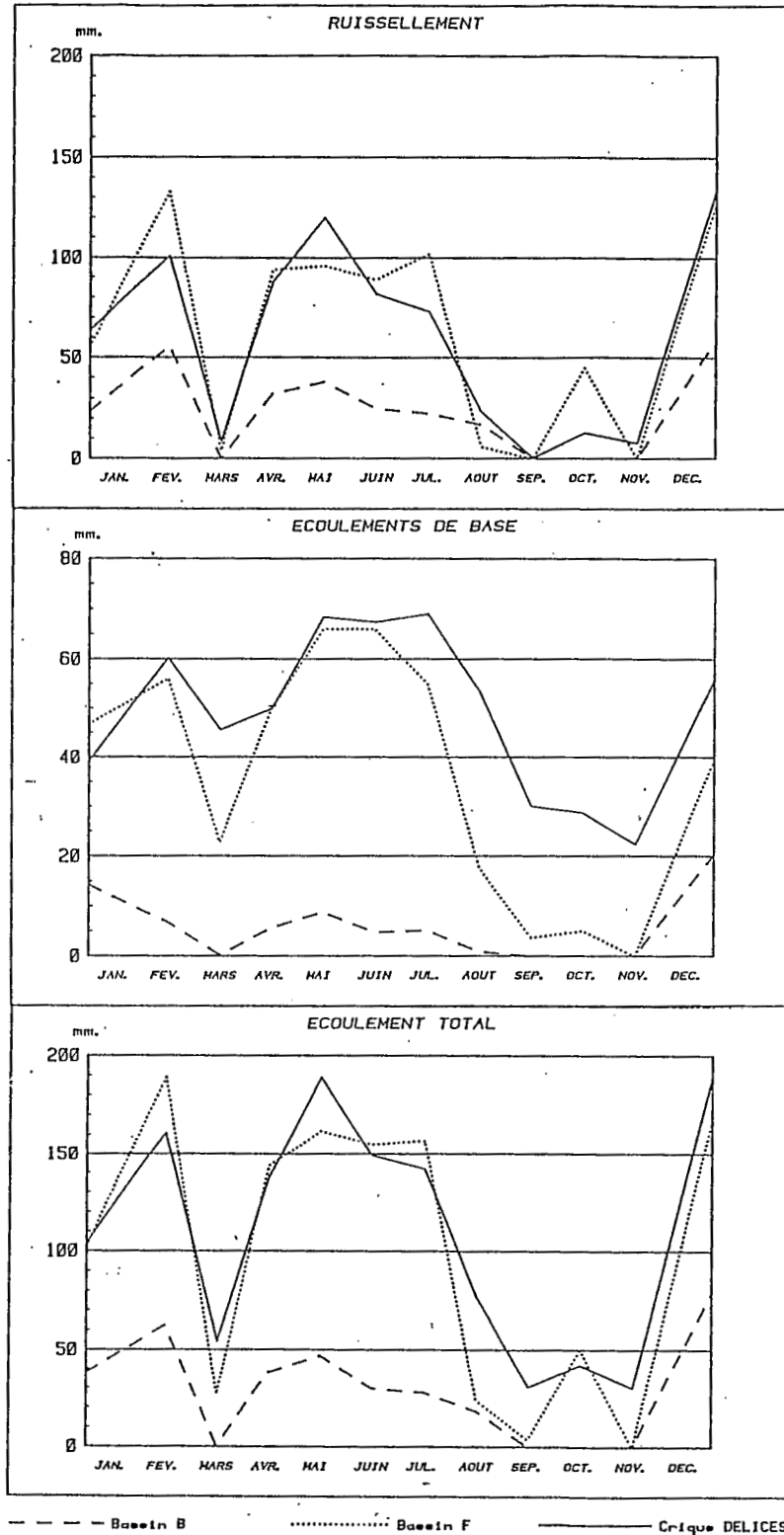


FIG. 5 Variations mensuelles du ruissellement, des débits de base et de l'écoulement total sur les bassins élémentaires B et F et la crique Délices en 1981.

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 ap-

titude 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 bassin-versant de la crique Délices comporte 12.2% de sols perméables du stade I, 54.5% de sols à drainage bloqué (stade III) et 25.9% de zones cartographiées en stade II (passage du drainage vertical au drainage latéral le long d'un même versant). Si l'on admet que la moitié des sols de ce dernier ensemble sont à drainage bloqué, ceux-ci représentent alors 67.5% du bassin de la crique Délices. L'emprise des zones de nappe affleurantes en saison des pluies est de 7.4%.

Le bassin 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%.

En fin de compte, 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 modèle guyanais sur altérites de schistes, on peut observer les mêmes écoulements sur une parcelle de 400 m² et sur un bassin élémentaire 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.

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 (J.M. 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 a fallu, par exemple, 1300 plants d'eucalyptus pour l'aménagement sylvicole d'un bassin élémentaire d'un hectare (b.v. H), 500 plants de pamplemoussiers pour celui du bassin C (1.6 ha.) ou

encore 7 jeunes taurillons pour simuler une charge de trois unités de gros bétail à l'hectare sur le pâturage du bassin A. 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, qui ont été plantés respectivement en pin caraïbe et en eucalyptus, peuvent être considérés comme des intérateurs assez fidèles pour que les résultats recueillis sur ces unités permettent de prévoir directement, de façon synthétique, le comportement de zones plus vastes de la région: ce sont des bassins-versants représentatifs, au sens hydrologique habituel.

Par contre, des bassins-versants développés sur des sols aux comportements hydrologiques moins dégradés, ou des parcelles, 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 (Deux chiffres par jour - pluviométrie et volume écoulé), par rapport au bassin élémentaire, dont l'enregistrement en continu des pluies et des hauteurs d'eau, est lourd et contraignant (On a observé 7 723 événements "averse-crue" sur dix bassins élémentaires en 6 ans !).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES CITEES

- 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 cinquantenaire de l'A.F.E.S., p.167-169.
- Fritsch J.M. (1986) L'augmentation du ruissellement après défriement mécanisé de la forêt amazonienne. Comptes-rendus des XIX^{èmes} journées de l'hydraulique, Paris, sept.1986. Société hydrotechnique de France, question I-8.
- Roche M.A. (1982) Evapotranspiration réelle de la forêt amazonienne en Guyane. Cah. ORSTOM, série Hydrol., Vol XIX, n°1-1982, p. 37-44.
- Roche M.A. (1982) 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.
- 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.