LES TRANSPORTS SOLIDES DANS L'ECOSYSTEME FORESTIER TROPICAL HUMIDE EN GUYANE :

LES EFFETS DU DEFRICHEMENT ET DE L'INSTALLATION DE PATURAGES

J.M. FRITSCH
Charge de recherches
de l'ORSTOM

J.M. SARRAILH
Ingenieur de recherches
C.T.F.T./Guyane

****

RESUME :

Les effets du défrichement mécanisé de la forêt primaire et des premiers stades de l'implantation de pâturages sur l'érosion sont mesurés sur petits bassins-versants et sur parcelles d'érosion. A partir des données recueillies dans le même temps sur deux bassins-témoins et sur trois parcelles élémentaires en forêt naturelle, on met en évidence que les transports solides en suspension après défrichement, augmentent dans des rapports de 20 à 30 fois ceux du domaine naturel, et les charriages selon des facteurs de 50 à 500.

Le suivi topographique d'un bassin défriché montre que les transports solides mesurés à l'éxutoire ne constituent qu'une petite fraction de l'érosion effective sur les versants.

Les transports solides observés sous prairies artificielles sont faibles : 2,4 fois la forêt sur le bassin C et 3,2 fois sur le bassin A. Les valeurs sur parcelles et sur bassins apparaissent tout à fait comparables, avec cependant des taux supérieurs sur les bassins.

PREAMBULE

L'opération ECEREX (ECologie ERosion EXpérimentation) a été conçue en 1976 pour répondre aux problèmes posés à la fois par l'exploitation de la forêt, dans l'optique d'un développement papetier de la Guyane et par un développement rural à partir des surfaces déforestées.
Elle consiste en un vaste projet multidisciplinaire dont le but est de préciser et de mesurer les effets que la mise en valeur peut entrainer sur l'équilibre des facteurs de production par comparaison avec le fonctionnement de l'écosystème forestier initial dont il s'agit en premier lieu de parfaire la connaissance.

L'essentiel du projet consiste à exploiter des dispositifs comparatifs en petits bassins versants expérimentaux étalonnés au point de vue hydrologie et érosion sous forêt naturelle pendant deux saisons des pluies, puis mis en valeur selon divers schémas concevables pour la Guyane française. (SARRAILH, 1984)

1. PROTOCOLE ET DISPOSITIFS DE MESURE DE L'EROSION

Les mesures de l'érosion à ECEREX ont été conduites à différentes échelles spatiales et temporelles ; on distingue :

. Un ensemble de dix bassins-versants drainant de 1 à 1,6 hectares (notés A et J) dans lequel 2 bassins exploités à titre de témoin ont conservé leur couvert forestier. Les autres ont été défrichés après une phase d'étalonnage du milieu naturel, selon les techniques de la culture traditionnelle sur brûlis pour l'un d'entre eux, tandis que 7 bassins subissaient un défrichement méçanisé (fig. 1).

Les débits sont connus par l'enregistrement continu des niveaux d'eau sur des déversoirs, en V ou de type H-FLUME (fig. 3). Les transports solides par suspension sont calculés à partir de prélèvements unitaires effectués à intervalles de temps rapprochés pendant certaines crues. Les matières transportées en dehors des prises d'échantillons sont reconstituées crue par crue au moyen de régressions.

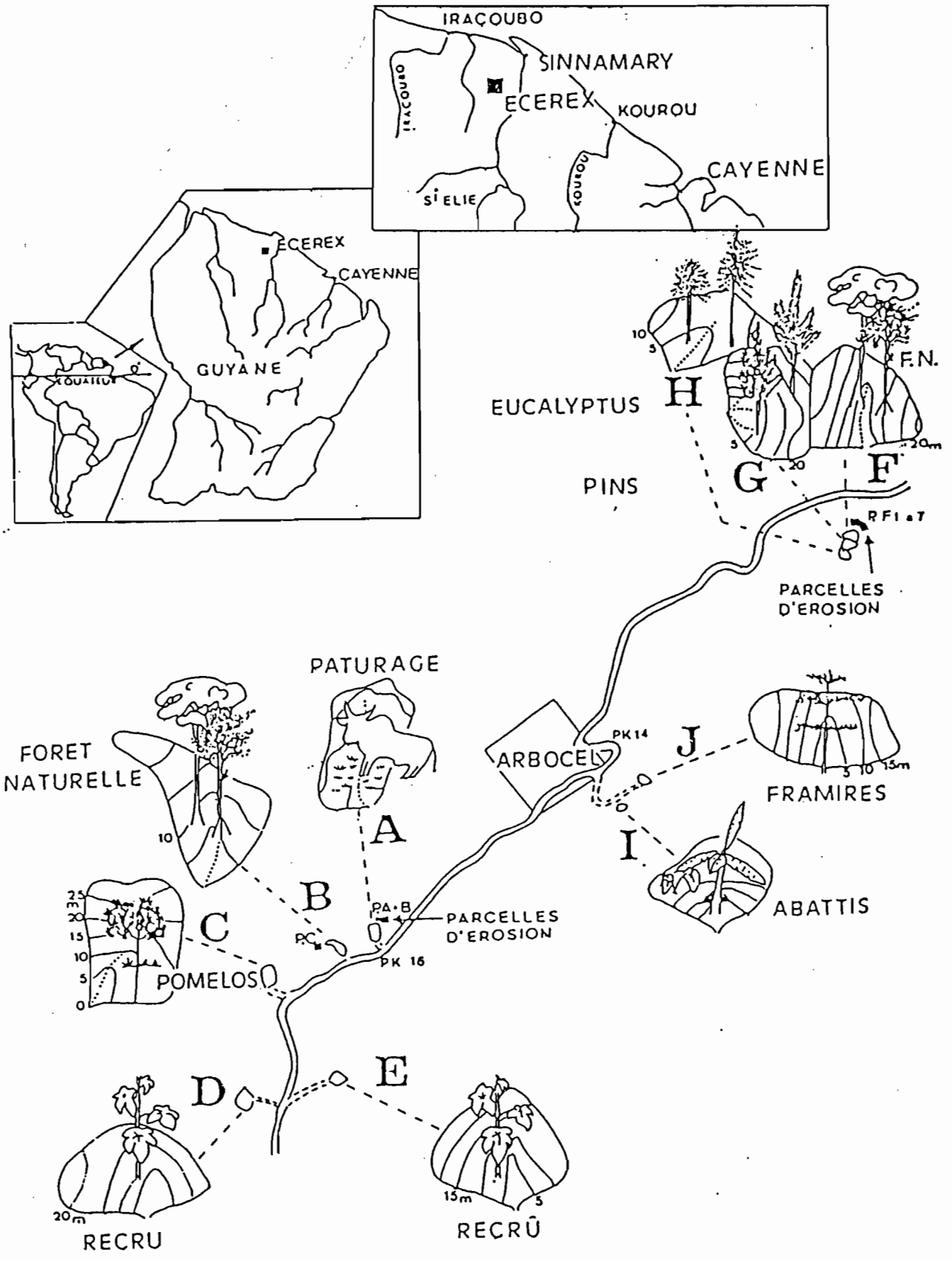


Fig. 1 : Dispositif général.

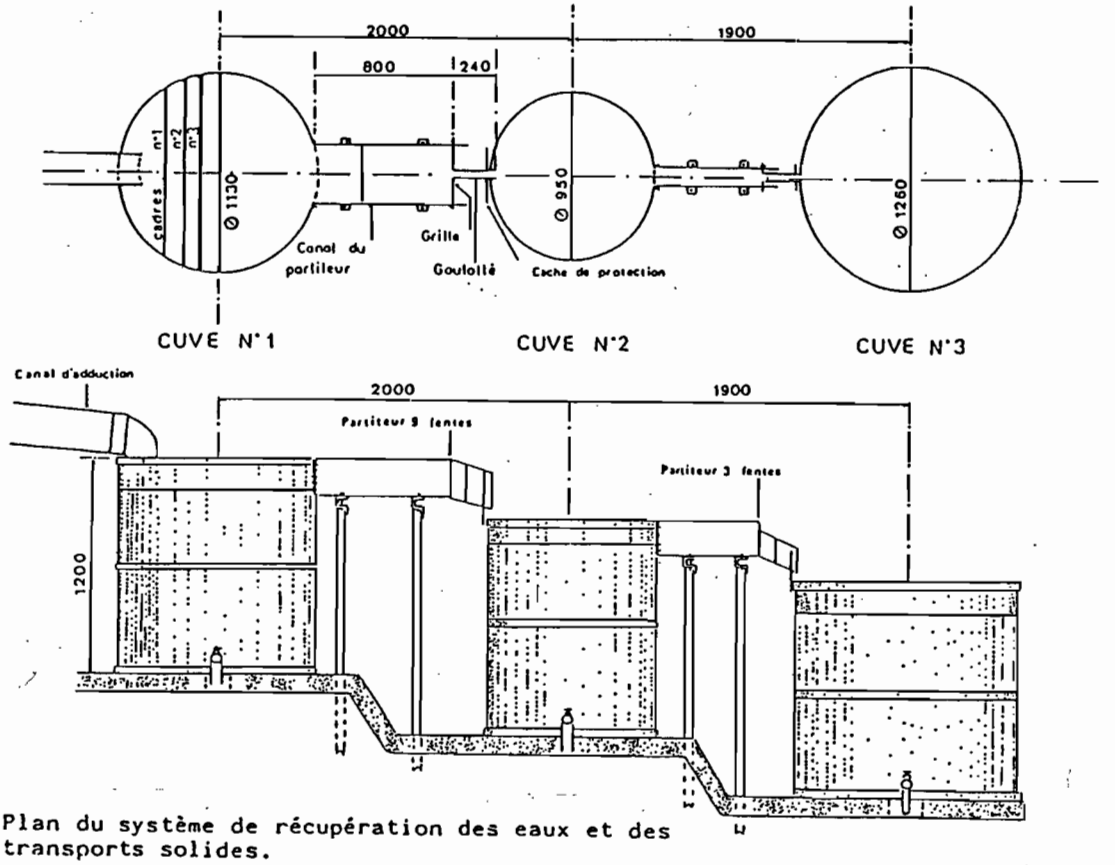


Fig. 2 Plan du système de récupération des eaux et des transports solides.

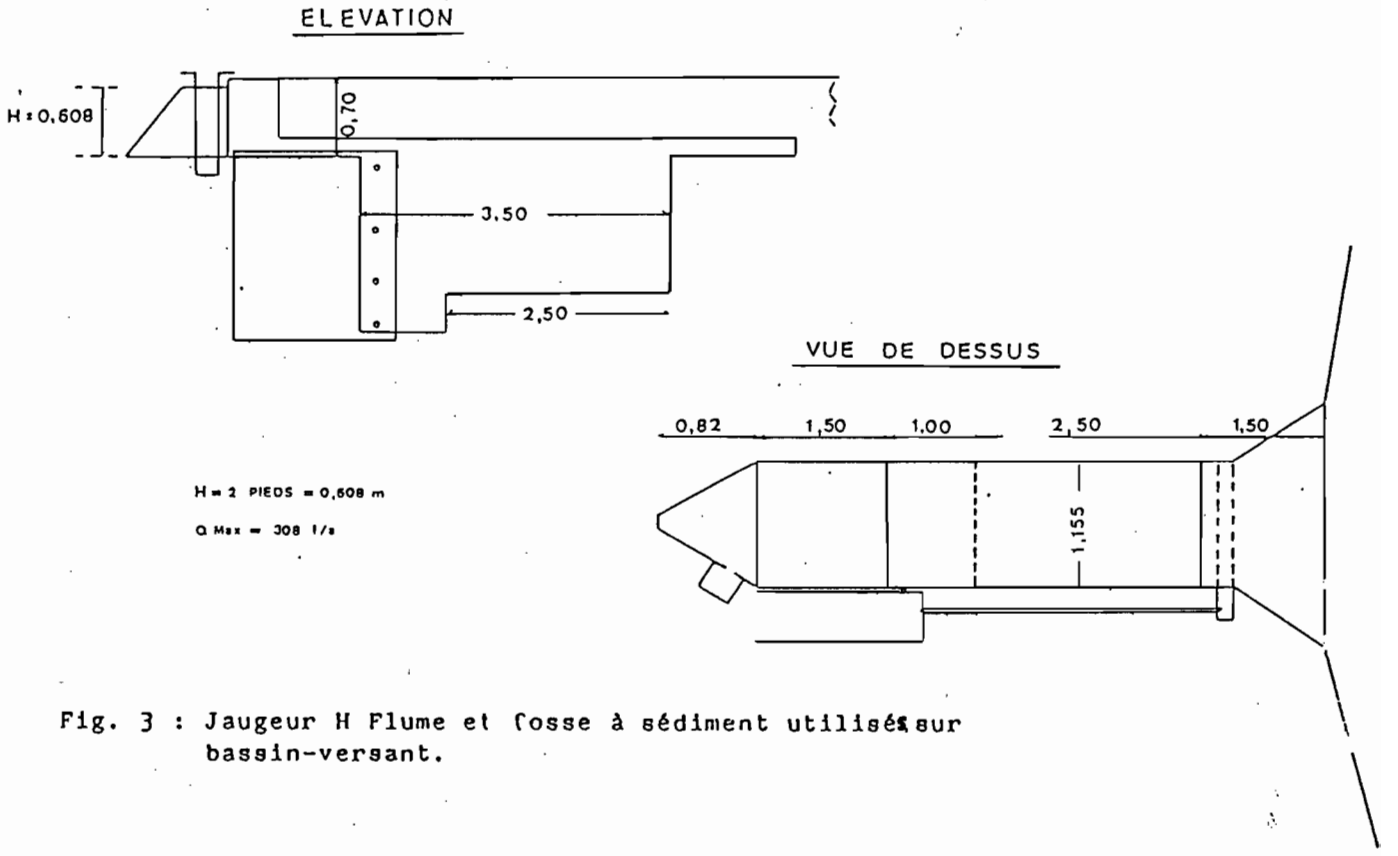


Fig. 3 : Jaugeur H Flume et fosse à sédiment utilisés sur bassin-versant.

A l'amont immédiat des déversoirs, des fosses à sédiments captent les dépôts grossiers, dont le volume est connu après une vidange effectuée à la fin de chaque mois.

Les observations ont commencé en 1977 sur 3 bassins (A, B, C). Une première synthèse de l'écoulement et de l'érosion sous forêt naturelle a été établie à partir des données de 8 bassins versants exploités en 1978 (M.A ROCHE, 1982).

. Des parcelles de 100 m² à 400 m², sur lesquelles l'érosion est mesurée au pas de temps journalier, selon le procédé global mais précis, qui fournit des résultats sans lacunes depuis le début des observations.

Trois parcelles (PA, PB et PC) sont situées sous forêt primaire et sept autres sont plantées en espèces fourragères (PF1 à PF7). Une parcelle en sol nu de 5 m x 20 m, exploitée selon le protocole de WISCHMEIER complète le dispositif. Les sédiments et les écoulements superficiels sont captés dans des cuves de réception, séparées par des partiteurs (fig. 2).

. Des levés topographiques ont été exécutés le long de 8 transects sur les versants de l'un des bassins en juin 1980 sous forêt primaire, puis en juillet 1981 après passage des engins.

2. LES CONDITIONS DE L'EROSION DANS LE MILIEU NATUREL

2.1 La pluie

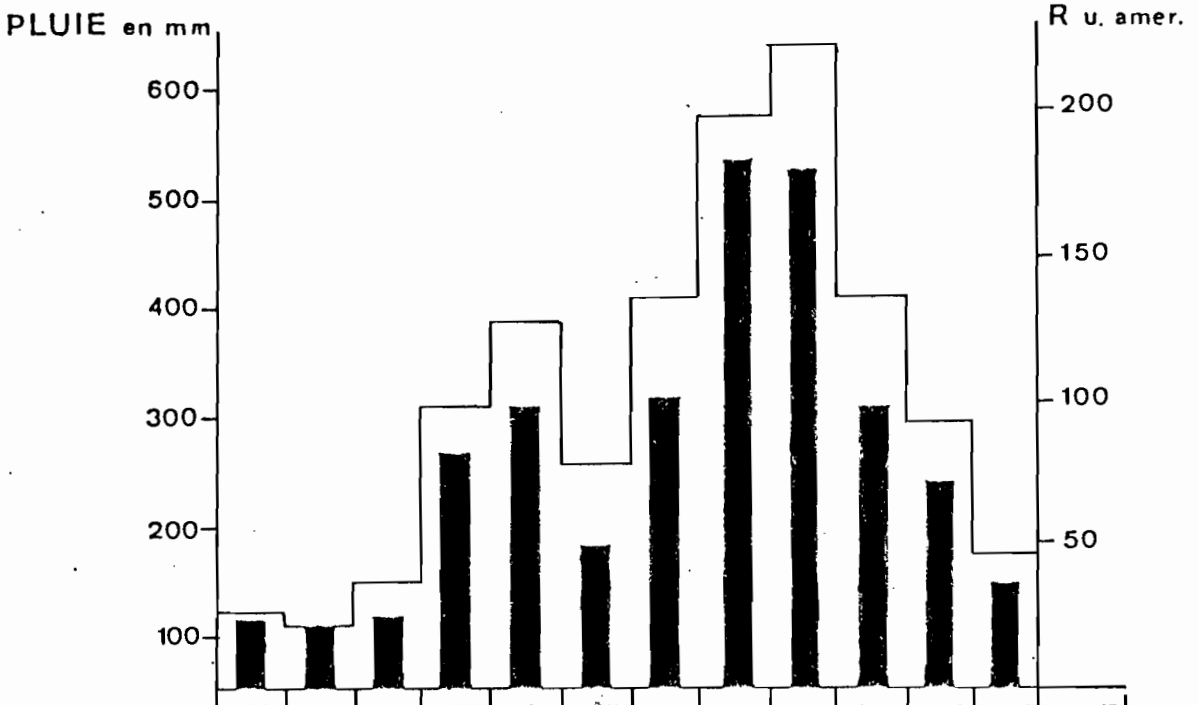
2.1.1 Le régime pluviométrique

Le climat de la Guyane française est de type équatorial de transition. La pluviométrie moyenne interannuelle sur le site ECEREX est de 3 255 mm. Le régime présente deux périodes pluvieuses distinctes (fig. 4) : un premier épisode en décembre-janvier qui reçoit en tout 596 mm et la "grande saison des pluies" de fin mars à juillet avec 2 087 mm, c'est à dire 64 % du total annuel.

La pluie moyenne du mois le plus arrosé (mai) atteint pratiquement 600 mm, mais on a observé pour ce mois plus de 1 000 mm (1 027 mm en 1984). On note l'occurrence d'une véritable saison sèche qui s'étend de fin août à la fin novembre, pendant laquelle l'évapotranspiration potentielle est supérieure à la pluie. Durant cette période, aucun mois ne reçoit plus de 100 mm et on n'observe pratiquement jamais d'écoulements.

Les intensités sur de courtes périodes sont relativement modérées et diminuent très rapidement avec la durée (tableau 1). Ainsi on a tout juste atteint 50 mm en une heure ce qui correspond à la pluie horaire de fréquence biennale à l'aéroport de CAYENNE/ROCHAMBEAU. Par contre on a enregistré des intensités en 5 minutes dépassant souvent 100 $mm.h^{-1}$ avec un maximum à 156 $mm.h^{-1}$ en 1979. A ROCHAMBEAU ce chiffre correspond approximativement à une période de retour de 5 ans.

PLUIE A ECEREX MOYENNE SUR 6 ANS



	SEPT	OCT	NOV	DEC	JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	ANNEE
PLUIE en mm	72,3	61,3	100,8	257,8	338,1	209,7	361,5	525,9	590,2	360,2	249,6	127,9	3255,3
INDEX de Pluie	24,6	23,0	26,1	82,0	97,2	49,8	100,2	182,4	179,2	98,0	73,4	36,0	971,9

Fig. 4 : Régime pluviométrique à ECEREX.

	5'	15'	30'	60'
1977	120	90	68	46
1978	144	96	72	52
1979	156	81	49	34
1980	102	81	59	44
1981	103	88	56	30
1982	88	76	49	28

TABLEAU 1 : Intensités maximales annuelles à ECEREX au bassin B, exprimées en millimètres par heure pendant des durées de 5, 15, 30 et 60 minutes.

2.1.2 L'index de pluie de WISCHMEIER :

Cet indice se propose de représenter le potentiel climatique de l'érosion. Sa moyenne interannuelle à ECEREX, calculée sur 6 ans, vaut 972 unités américaines (R. USA), le décompte ayant porté sur les averses unitaires de plus de 10 millimètres (fig. 4). Cette moyenne est fortement influencée par l'année 1983-84 dont le total atteint 1373.

La moyenne observée sur les 5 premières années, voisine de 900 unités américaines parait plus représentative de la moyenne climatique de la région. On peut comparer cette valeur, avec celle calculée 20 kilomètres plus au Sud, à la crique GREGOIRE sur 9 années de 1968 à 1976 et qui vaut 895 avec un seuil d'averses prises en compte fixé à 5 mm (J.M. FRITSCH, 1984).

Ces chiffres correspondent à une agressivité annuelle importante : sous des climats réputés très érosifs comme l'AFRIQUE du Nord, l'indice annuel varie entre 50 et 300 et il faut se référer à des climats hyper-humides comme ceux de la côte Est de MADAGASCAR ou de la côte de GUINEE en AFRIQUE pour trouver des valeurs de R dépassant 1 000 (E. ROOSE, 1981).

Néanmoins toutes les observations et mesures d'érosion effectuées en GUYANE avec le couvert forestier originel concluent à des taux de transports solides très bas ; à l'occasion d'une étude d'impact de l'aménagement hydroélectrique du fleuve SINNAMARY on a pu conclure que sur ce bassin de 6 000 km', la concentration annuelle moyenne des eaux en matières minérales ne dépasse pas 15 $mg.l^{-1}$. (J.M. FRITSCH, 1984).

Cette faible activité de l'érosion est à mettre en rapport avec la couverture de forêt dense primaire absolument continue et presque partout intacte. Le rôle joué par cette couverture végétale est tout à fait capital puisque l'on sait que dans les équations empiriques de calcul de l'érosion, telle l'U.S.L.E. (Universal Soil Loss Equation) de WISCHMEIER et SMITH, l'érosion d'un sol nul est 1 000 fois supérieure à celle sous forêt, toutes choses égales par ailleurs (E. ROOSE, 1981).

Ce phénomène s'explique également par les intensités de pluie qui sont modérées dès que les durées dépassent quelques dizaines de minutes, et la valeur élevée de l'indice R résulte davantage des effets du cumul d'un nombre important d'averses plutôt que de l'énergie particulière de quelques unes d'entre elles.

2.2 Les sols

A ECEREX, le modèle est constitué d'une succession de petites collines culminant à environ 100 m, donnant un relief "en dents de peigne" (M. BOYER, 1976) ou en "amandes" (B. CHOUBERT, 1974). Après des descriptions aussi suggestives, le lecteur n'aura peut-être aucune peine à imaginer que les bassins versants qui s'individualisent dans ce modelé sont de très petite taille, et qu'à partir de quelques hectares, les talwegs se perdent dans des bas-fonds marécageux en saison des pluies. Les pentes des versants des bassins expérimentaux varient entre 17 et 35%, avec des valeurs modales autour de 20-25 %, alors que la pente des talwelgs oscille entre 10 et 20 %.

Bien que le substratum géologique de la zone étudiée soit cartographié comme une unité homogène, (le schiste de Bonidoro), les sols qui en dérivent appa-raissent très différenciés au plan de la dynamique de l'eau en fonction des états successifs de transformation de la couverture pédologique (R. BOULET , 1982) :

- Lorsque la couverture initiale est restée intacte, cas le moins fréquent, le cheminement de l'eau est vertical et profond. La dynamique de ces sols à perméabilité élevée est dite *"à drainage vertical libre"* (DVL).

- Dans un stade ultérieur, et par suite de l'amincissement des horizons supérieurs à porosité élevée, la pénétration de l'eau est interrompue ou fortement ralentie à faible profondeur ce qui entraîne de forts ruissellements et une circulation latérale au-dessus d'un volume compact, "sec au toucher". A ce stade les sols sont dits à *"drainage vertical bloqué"* (DVB).

Il est fréquent de rencontrer sur un même petit bassin des couvertures mixtes, avec une partie des versants, généralement la partie supérieure, en drainage vertical libre et le reste à drainage vertical bloqué.

- Enfin la partie aval du bassin peut être le siège d'une *nappe phréatique*, temporaire ou permanente, qui peut même affleurer en saison des pluies lorsque l'enfoncement de la surface topographique atteint l'horizon compact "sec au toucher".

2.3 Les écoulements naturels

2.3.1 Les écoulements sur bassins versants

Comme on pouvait s'y attendre, avec l'existence des types pédologiques très différenciés qui viennent d'être décrits, *les écoulements et les ruissellements varient dans une gamme très étendue* (tableau 2).

	C	I	E	D	B	A	J	G	F	H
Surface (ha)	1.6	1.1	1.6	1.4	1.6	1.3	1.4	1.5	1.4	1.0
Pente des versants (%)	17-20	22-23	32-23	28-18	17-17	20-20	32-29	26-34	35-31	19-24
Surfaces à drainage libre (%)	100	60	57	60	10	0	2	0	0	0
Surfaces à drainage bloqué (%)	0	40	43	40	90	100	98	90	96	86
Zones de nappes (%)	-	-	-	-	-	-	-	10	4	14
Pluie annuelle (mm)	3526	3365	3407	3197	3286	3430	3229	3187	3141	3288
Lame écoulée (mm)	372*	488	497	533	668	690*	996	1551	1617	1833
Coefficient d'écoulement (%)	10.6	14.5	14.6	16.7	20.3	20.1	30.8	48.7	51.5	56.8
Lame ruisselée (mm)	212*	372	471	506	565	597*	948	967	1079	1143
Coefficient de ruissellement (%)	6.0	11.1	13.8	15.8	17.2	17.4	29.4	30.3	34.3	35.4

TABLEAU 2 : Caractéristiques physiques et pédologiques des bassins-versants.
Pluviométrie, écoulement et ruissellement sous forêt naturelle en 1979

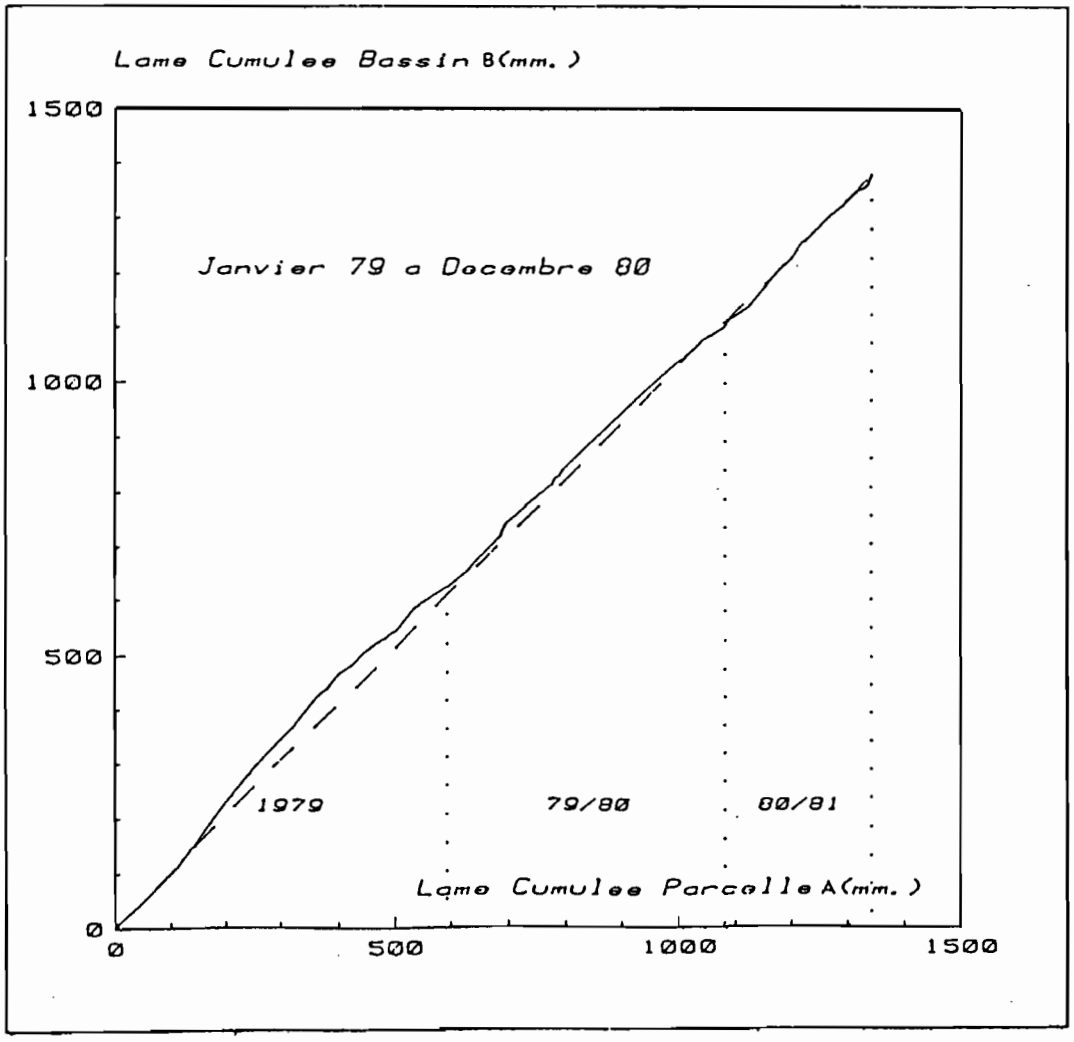


Fig. 5 : Double masse entre écoulement sur parcelle et sur bassin sous forêt naturelle.

Ainsi, sous forêt naturelle, on aurait enregistré en 1979, 212 millimètres de ruissellement, soit 6 % de la pluie sur le bassin C entièrement composé de sols à drainage libre alors qu'à l'autre extrême le ruissellement sur le bassin H a atteint 1 143 millimètres, c'est-à-dire 35 % de la pluie annuelle. Sur ce dernier type de bassin, des coefficients de ruissellement de plus de 80 % à l'échelle de l'averse ne sont pas rares. Les débits maximums instantanés peuvent y atteindre des valeurs aussi élevées que 277 ou 288 litres par seconde et par hectare (tableau 3), soit l'équivalent en intensité de 100 millimètres par heure. Or comme on peut le constater sur le tableau 1, ce seuil pluviométrique n'est dépassé que de très peu et pendant des temps courts, de l'ordre de 5 minutes : c'est dire que les bassins du type F, G et H peuvent présenter un rendement hydrologique exceptionnel. L'existence de tels bassins à côté d'unités à drainage libre comme le bassin C, entrainant une dispersion dans les écoulements de 1 à 5, annonce des comportements différentiels du même ordre de grandeur pour l'érosion sous forêt primaire.

Bassin	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Période	77-78	77-83	77-78	78-80	78-80	78-83	78-80	78-80	79-81	79-82
N° 1	177	128	73.9	168	97.4	277	244	288	106	143
N° 2	167	113	47.4	124	89.7	149	156	169	74.2	113
N° 3	156	110	45.5	111	81.3	146	126	161	72.5	97.1
N° 4	93.8	102	43.9	102	79.4	143	106	157	72.5	93.8
N° 5	86.1	93.2	41.6	89.4	72.9	135	104	153	53.6	92.8

TABLEAU 3 : Débits maximums instantanés (en $l.s^{-1}.ha^{-1}$) des 5 plus fortes crues enregistrées sous forêt sur les bassins ECEREX.

2.3.2 Les écoulements sur parcelles

Dans des situations pédologiques équivalentes, les écoulements annuels des parcelles et la somme des écoulements en crues des bassins sont tout à fait comparables. Le seul phénomène d'échelle qui soit perceptible est une plus grande inertie du bassin versant qui écoule moins d'eau que la parcelle en début de saison des pluies ou après une période peu arrosée, alors que c'est l'inverse qui se produit lorsque les averses se succèdent quasiment sans interruption en périodes d'activité de la Zone Intertropicale de Convergence. Cependant l'écart cumulé entre les 2 systèmes reste toujours inférieur à 8 % même dans des conditions très pluvieuses (fig. 5).

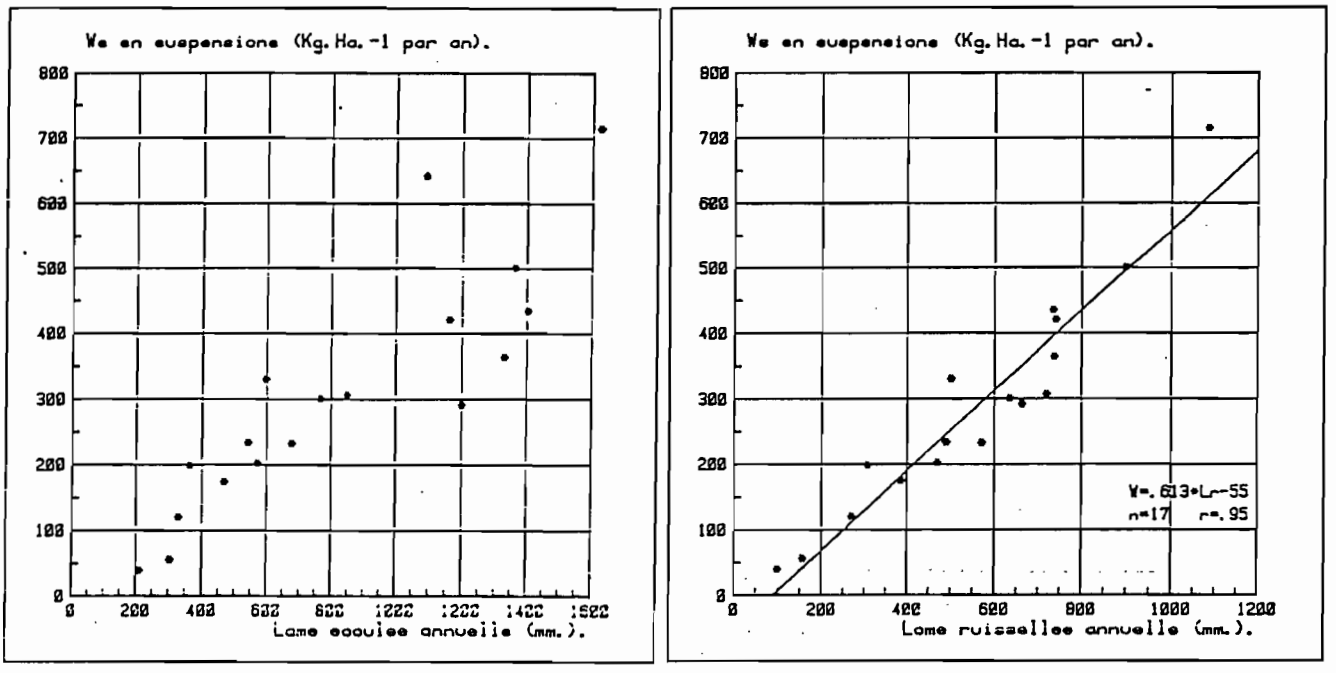


Figure 7 : Transports solides par suspension dans l'écosystème forestier en fonction de l'écoulement total annuel et du ruissellement annuel.

Année	Bassin	Le	Lr	Ws
77	A	841	713	299
	B	759	628	293
	C(1)	203	93.4	31.3
78	A	589	495	323
	B	564	464	195
	C	296	150	47.9
	D(2)	356	302	191
	F	1395	728	427
	G	1191	656	284
	H	1323	730	357
79	B	668	565	225
	D	533	484	226
	F	1617	1079	707
80	B	461	379	167
	F	1355	893	493
81	B	322	264	113
	F	1153	735	413

(1) : juin-décembre (2) : mai-décembre

Lame écoulée, Lame ruissellée et transports solides en suspension par annéee sur les bassins ECEREX en forêt naturelle.

3. EROSION ET TRANSPORTS SOLIDES DANS L'ECOSYSTEME FORESTIER

L'écosystème forestier primaire amazonien constitue un milieu en équilibre : les transports solides en suspension et par charriage mesurés à un exutoire sont donc égaux en poids à l'érosion mécanique qui s'exerce sur toutes les surfaces drainées à l'amont de ce point.

3.1 Les transports solides à l'exutoire des bassins-versants

Les concentrations instantanées en matière en suspension sont faibles et varient relativement peu avec les débits. Par exemple, les concentrations des échantillons prélevés sur le bassin B n'ont jamais dépassé 150 milligrammes par litre et la répartition des teneurs en suspensions s'ordonne selon une courbe unimodale qui comporte 60 % des prélèvements dans la gamme 10-25 $mg.l^{-1}$ et 93 % de ceux-ci dans les limites 6-63 $mg.l^{-1}$ (Fig. 6). Cette faible dispersion explique que le transport solide soit relativement régulier dans l'année et que la contribution des crues importantes puisse être moindre que dans d'autres biotopes. Ainsi en 1979, sur ce même bassin B, 40 % du transport solide en suspension s'est écoulé pendant les phases de crue, c'est-à-dire pendant que les débits se maintenaient au-dessus de 20 litres par seconde, alors que 60 % de celui-ci s'écoulait avec des débits inférieurs à ce seuil. La situation sur l'autre bassin-témoin (F) est très semblable : même valeur modale (15 $mg.l^{-1}$), avec cependant un léger applatissement de la courbe de fréquence qui comporte davantage d'échantillons en dessous de 10 $mg.l^{-1}$ et quelques rares éléments dans la gamme 150-300 $mg.l^{-1}$, non représentée sur le bassin B. Cette stabilité dans les concentrations implique, qu'à l'échelle annuelle, les transports solides par suspension des bassins-versants soient en assez bonne corrélation avec le ruissellement (Fig. 7).

On obtient par ajustement linéaire

$$\boxed{Ws = 0{,}61\ Lr - 55} \qquad (1)$$

Avec . Ws = transport par suspension en $kg.ha^{-1}$ par an

. Lr = lame ruissellée annuelle en mm.

Une autre estimation, moins précise du transport solide par suspension, mais qui n'exige pas de connaître le ruissellement, peut être fait à partir de l'écoulement global, sur la base d'un gradient moyen annuel de 35 kg de suspensions par hectare et par tranche de 100 mm d'écoulement.

Les charriages sont extrêmement faibles en milieu naturel non perturbé, ce qui rend leur mesure très aléatoire les premiers mois qui suivent la construction des déversoirs ou les prospections à pied sur le bassin, faites à l'occasion des levés topographiques et pédologiques et des inventaires botaniques.

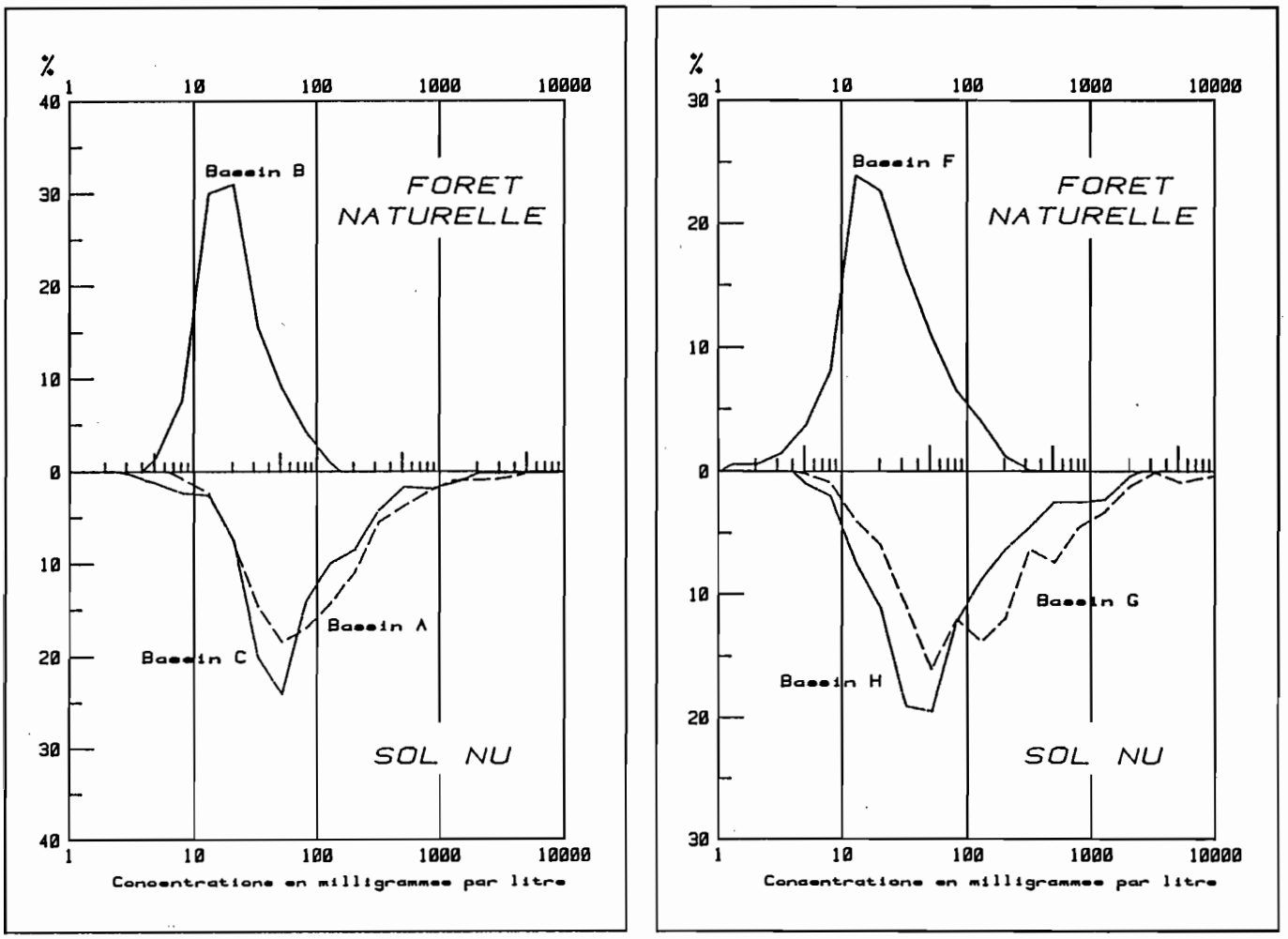


Fig. 6 : Histogramme des concentrations de matières en suspension sur les bassins-versants.

B.V		1978	1979	1980	1981	1982
B	Charriage	270	52	39	12	13
	% à Ws	139	23	23	11	7
F	Charriage	148(1)	104	50	38	58
	% à Ws	35	15	10	9	12

(1) d'avril à décembre

TABLEAU 4 : Transports solides par charriage (en $kg.ha^{-1}$) sur les bassins-versants en forêt naturelle et proportion (en %) de ceux-ci par rapport aux transports en suspension Ws.

Le tableau 4 donne une idée des valeurs absolues de transport de fond, qui représentent quelques kilogrammes de terre par hectare et par an, le charriage du bassin B semblant se stabiliser autour de 10-15 kg et celui du bassin F dans des limites de 40 à 60 kg par hectare et par an. Le rapport de 1 à 4 entre ces deux résultats est dans l'ordre de celui des écoulements respectifs des 2 bassins-versants.

Les sédiments qui sont retirés des fosses sont surtout constitués de "sables" : selon les bassins-versants de 75 à 93 % des sédiments ont une gramulométrie comprise en 50 microns et 2 millimètres (résultats de l'année 1979). La fraction supérieure à 2 millimètres est négligeable.

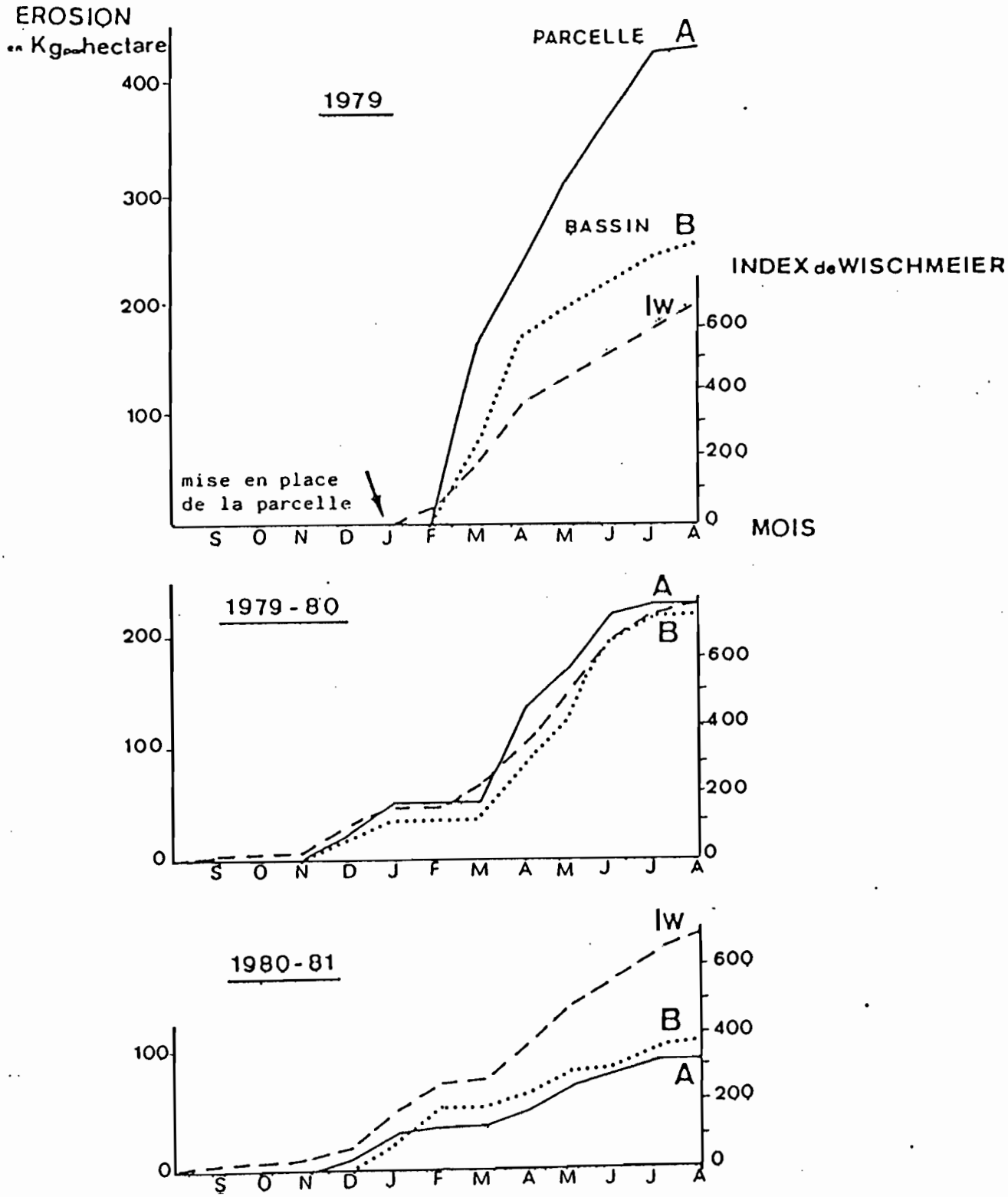
On a également figuré sur ce tableau la proportion des charriages (en %) par rapport aux matières en suspension. On constate que ces transports grossiers, importants les premières années, évoluent à la baisse et tendent à représenter une masse de l'ordre de 10 % de celles des suspensions.

En utilisant l'équation (1) on peut donc paramétrer l'ensemble du transport solide annuel résultant de l'érosion mécanique dans l'écosystème forestier, sous la forme

$$W = 1.1 * (0,61\ Lr - 55) \qquad (2)$$

Avec . W = charriages + suspensions (en $kg.ha^{-1}$)
. L = lame ruissellée annuelle (en mm).

Fig. 8 : Evolution de l'érosion sous forêt naturelle, sur la parcelle A et le bassin B, et de l'index de pluie de Wischmeier IW de 1979 à 1980-81.



Les tentatives de prédétermination de l'érosion à partir des formules empiriques, telle l'U.S.L.E. très utilisée sur le continent nord et sud américain, se sont révélées décevantes en raison des comportements hydrologiques très contrastés entre bassins-versants.
Ces formules utilisent l'index de pluie de WISCHMEIER, qui est pratiquement le même sur tous les bassins-versants, qui ne sont séparés que de quelques kilomètres, alors que leurs coefficients de ruissellement annuels varient de 6 % à 35 % (tableau 1, dernière ligne). Dans ces conditions, prétendre déterminer les pertes en terre à partir de la pluviomètrie paraît tout à fait aléatoire. Pareille constatation avait été faite par les agronomes américains, dont certains proposent d'utiliser un index de ruissellement (Runoff Energy Factor) dans l'U.S.L.E. en substitution de l'index de pluie de WISCHMEIER (J.R. WILLIAMS, 1971).

D'autre part, et sur un même bassin-versant, force est de constater que l'évolution de l'index IW ne suit pas du tout la production des sédiments d'une année sur l'autre, (voir fig. 8 érosion du bassin B et index de pluie de 1979 à 1981). Il est probable que cet index qui se propose de quantifier le potentiel de "splash" par l'énergie cinétique des gouttes de pluie, ne peut pas prendre en compte l'influence du passage de la pluie à travers la canopée forestière.

3.2 L'érosion sur les parcelles

La méthode de prélèvement global des eaux et des sédiments utilisée sur les parcelles ne permet pas de séparer les suspensions et les charriages : les résultats représentent l'ensemble de l'érosion mécanique. La première année d'exploitation, les résultats sont amplifiés par les perturbations créées lors de la mise en place du dispositif et ne représentent pas l'érosion qui s'exerce effectivement dans le milieu naturel. C'est ainsi que l'on a mesuré sur la parcelle A sur drainage vertical bloqué plus de 440 $kg.ha^{-1}$ la première année de mise en service (1979), soit près du double du bassin-versant B soumis aux mêmes conditions hydropédologiques. Cet écart n'est pas dû à un facteur d'échelle, puisqu'on peut constater qu'au cours des campagnes 1979-80 et 1980-81, les résultats enregistrés sur les deux dispositifs évoluent avec un parallélisme impressionnant (fig. 8).

4. EROSION ET TRANSPORTS SOLIDES APRES DEFRICHEMENT

Destinés à vérifier l'impact d'une exploitation de la forêt pour la production de pâte à papier, les bassins expérimentaux ont été défrichés selon le protocole suivant :

- Coupe manuelle à la scie à chaîne des arbres de plus de 40 cm de diamètre - Façonnage en grumes.

- Débardage et exportation des grumes vers les hauts des bassins par un tracteur à pneus (Timber-jack), sur des pistes ouvertes par un chenillard léger (Caterpillar D4).

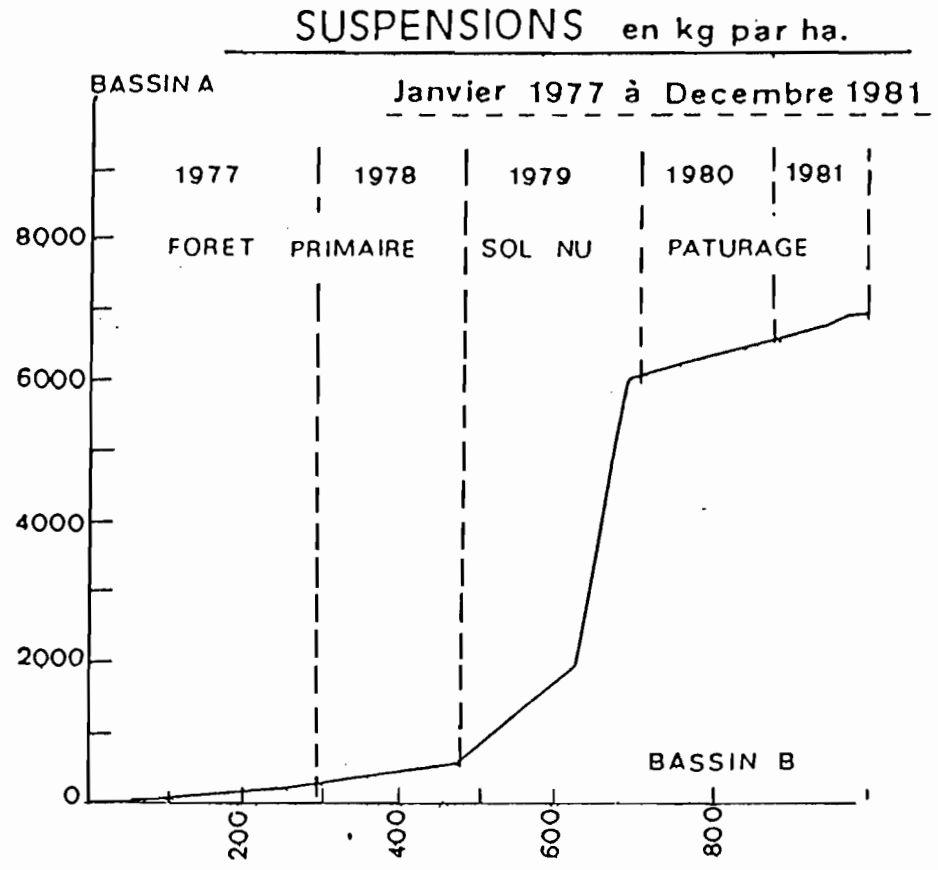
- Défrichement de la biomasse aérienne et souterraine restante au moyen d'un tracteur lourd à chenilles (Caterpillar D8), équipé d'une lame forestière (dite ROME ou KG) et d'un râteau andaineur hydraulique (FLECO).

Les concentrations en suspension à l'exutoire des bassins-versants pendant les mois qui suivent le défrichement mécanisé et alors que le sol est nu augmentent de façon très significative, puisque par exemple sur les bassins A et C, le mode se situe à 50 milligrammes par litre, contre 25 sous forêt naturelle au bassin B, mais surtout on constate l'apparition de concentrations nettement plus élevées, allant jusqu'à 5000 $mg.l^{-1}$ au bassin A, sur lequel 25 % des prélèvements présentaient des teneurs supérieures à la limite maximale sous forêt qui était de 150 $mg.l^{-1}$ (Fig. 6). La situation est comparable sur le groupe F, G, H où l'on observe la part importante occupée par des échantillons contenant de 200 à 10 000 $mg.l^{-1}$, après défrichements des unités G et H. Ces taux de transport en suspension, dont les valeurs absolues peuvent paraître encore modestes, sont à mettre en rapport avec le dispositif de mesure : les écoulements, canalisés sur plusieurs mètres à l'amont de la lame déversante, ont une vitesse très faible et la turbulence est réduite au minimum ; dès lors, seuls les sédiments les plus fins (argiles et limons fins) ne sont captés par les fosses et s'écoulent au-delà du seuil jaugeur (en V ou H-Flume) où sont faits les prélèvements.

Par ailleurs, il a été établi qu'après défrichement le ruissellement augmentait selon des rapports qui ont varié de 1,5 à 3,3 selon les bassins-versants par rapport au milieu naturel (J.M. FRITSCH - 1986), les gains relatifs les plus importants étant réalisés par les bassins qui, à l'origine, écoulaient les lames les plus faibles.

La conjonction des deux phénomènes - augmentation du ruissellement et augmentation des concentrations en suspension aboutit à des transports solides aux exutoires tout à fait remarquables (tableau 5), surtout si l'on compare ces chiffres avec ceux des bassins-témoins en forêt naturelle (Fig. 9).

A l'exception du bassin-versant H, on peut constater selon le tableau 5 que les transports solides en suspension après défrichement se situent selon des rapports de 20 à 30 fois supérieurs à ceux du domaine naturel, et avec des valeurs respectives de 7800, 5700 et 1900 $kg.ha^{-1}$ dans l'orde des coefficients d'écoulement des bassins G, A et C, à savoir 61 %, 47 % et 22 %. Le groupe A-C a été défriché pendant la saison sèche de 1978 alors que G et H l'ont été en saison des pluies, en décembre 1980 et janvier 1981. Cette par-



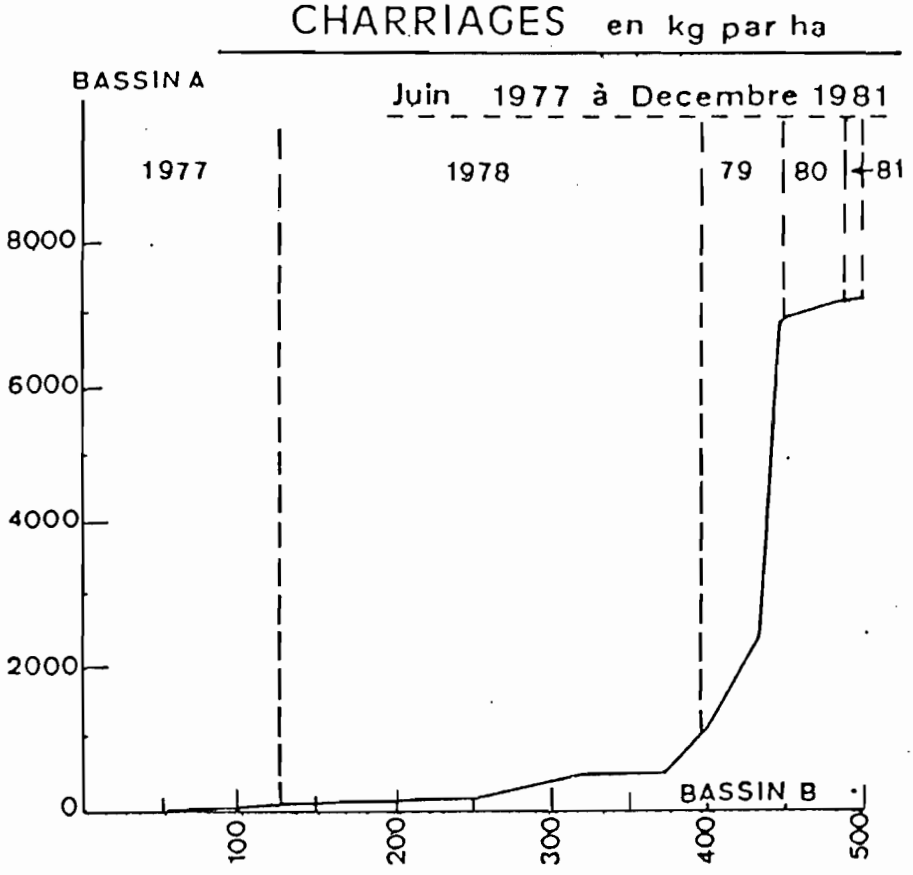


Fig. 9 : Evolution comparée des transports solides en suspensions et en charriages sur les bassins expérimentaux A et C avec ceux du bassin-témoin B.

	A	C	G	H
Suspensions	5696	1898	7823	2786
Accroissement des suspensions	X 19	X 28	X 25	X 8
Charriages	6322	1284	9165	3085
Accroissement du charriage	X 108	X 49	X 515	X 126
Total des transports solides	12018	3182	16988	5871
Accroissement des transports solides	X 34	X 34	X 51	X 16

TABLEAU 5 : Transports solides annuels par suspension et par charriage (en $kg.ha^{-1}$) et accroissement par rapport au milieu naturel l'année du défrichement sur les bassins A, C, G et H.

Périodes de références :

Forêt Naturelle : A, B et C juillet 1977 à août 1978
F, G et H août 1978 à juillet 1980

Année du défrichement : A et C décembre 1978 à novembre 1979
G et H janvier 1981 à décembre 1981

ticularité explique le chiffre élevé obtenu sur G (7800 $kg.ha^{-1}$) et paradoxalement aussi la faible valeur du bassin H (2800 $kg.ha^{-1}$) qui correspond à un accroissement de 8 seulement, par rapport au milieu naturel. Les bas-fonds à ce bassin étaient si humides, que les conducteurs d'engins ont renoncé à s'aventurer dans la partie basse, proche du talweg et à déblayer un barrage composé de terre, de souches et de racines qui s'est comporté comme une banquette qui a capté la plus grande part des sédiments provenant des versants. Sans aucun doute, si ce processus n'avait pas existé, les transports solides auraient été comparables à ceux mesurés à l'éxutoire du bassin G.

Quant aux charriages, leurs accroissements sont encore plus sensibles, puisque ce mode de transport quasi-inexistant sous forêt se voit multiplié selon des facteurs de 50 à 500, ce qui correspond à des masses de 9200, 6300 et 1300 $kg.ha^{-1}$, toujours dans l'ordre G, A, C. Alors que sous forêt, le contenu de fosses à sédiments était principalement constitué par des sables fins, on y trouve maintenant des sédiments grossiers de taille centimétrique. Sur le bassin A, par exemple, 28 % des dépôts sont refusés par un tamis à mailles carrées de 13 mm de côté. Il s'agit de nodules présents dans des horizons pédologiques situés parfois à plusieurs centimètres, voire plusieurs dizaines de centimètres sous la surface, ce qui constitue d'ores et déjà un indice de l'amplitude de l'érosion sur les versants.

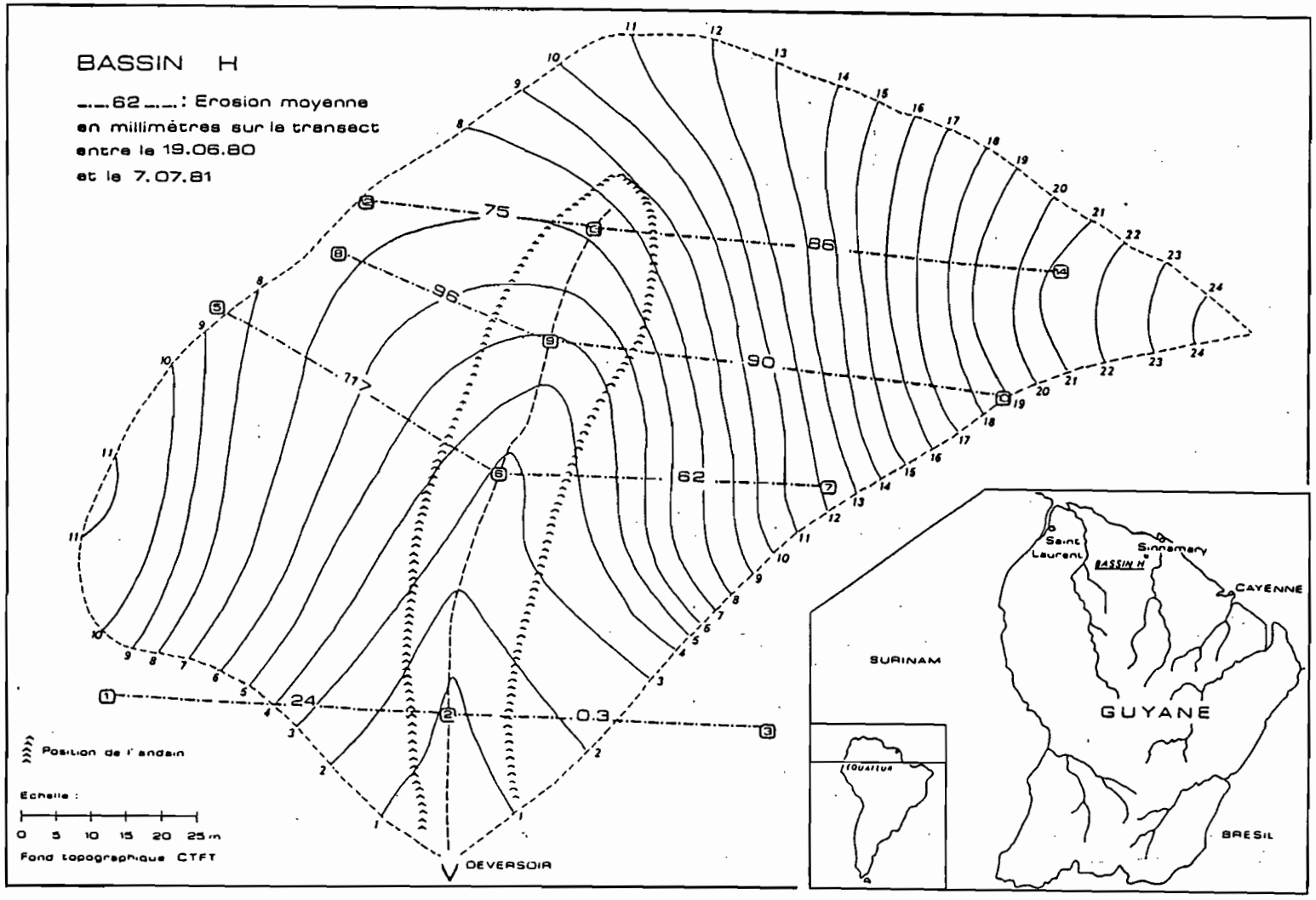


Fig. 10 : Erosion après défrichement sur les versants du bassin H (valeurs moyennes, par transect, en millimètres).

En conclusion, l'ensemble des transports solides d'origine mécanique au cours de l'année qui a suivi le défrichement s'établit à 17 tonnes par hectare sur le bassin G, c'est-à-dire 50 fois plus que dans l'écosytèmes forestier, à 12 tonnes.ha^{-1} sur A et 3,2 tonnes.ha^{-1} sur C, soit un accroissement de 34 pour ces derniers bassins.

Il est intéressant de noter que le paroxysme des apports solides à l'exutoire n'est pas contemporain ni immédiatement postérieur au passage des engins de défrichement, mais se produit plusieurs mois plus tard, au cours de phases de travail du sol non-mécanisées lors de la mise en place de l'aménagement : labour à la fourche pour la plantation d'un pâturage sur la bassin A et trouaison pour la plantation d'agrumes sur le bassin C ou de pins caraïbes sur la bassin G.

Cependant, même une perception sommaire des effets du défrichement laisse à penser que l'érosion provoquée est sans commune mesure avec des chiffres qui viennent d'être présentés. Dix ou quinze tonnes de sédiments ne représentent que quelques mètres cubes de sol en place, c'est-à-dire pratiquement le volume arraché par le râteau FLECO lors du dessouchage d'un gros arbre et moins de terre que n'en remue en une seule manoeuvre le tracteur débardeur embourbé, sur une pente à 25 %. Cette constatation faite pendant le défrichement de la première série de bassins A et C, nous a amené à mesurer l'érosion effective sur les versants, en pa-rallèle avec les transports solides à l'exutoire. Ce suivi, à partir de méthodes topographiques a été fait sur le bassin H, le long de 8 transects répartis sur le bassin et orientés selon la ligne de plus grande pente (Fig. 10). Par interpolation à l'ensemble du bassin-versant, on a pu estimer l'ablation moyenne à une tranche de sol de 84 millimètres, avec des maximums ponctuels de 150 à 300 millimètres selon les transects (J.M. FRITSCH - 1983). Plus précisément, les volumes colluvionnés dans le talweg depuis les parties moyennes et supérieures des versants s'établissent à 656 m' sur 8100 m', c'est-à-dire une érosion effective par hectare de 1200 tonnes !..., à comparer avec les 2,8 tonnes de suspensions et les 3,1 tonnes de charriages effectivement exportés en dehors du bassin-versant.

Rapportés aux concepts de conservation des sols ou d'impacts agronomiques du défrichement, les transports solides à l'exutoire sont donc très peu significatifs de la rupture d'équilibre et de l'érosion provoquées à l'amont. Selon une analogie électronique "signal-bruit" familière aux amateurs de haute-fidélité, on peut dire si l'on assimile l'érosion sur les versants au signal, les transports solides à l'exutoire ne constituent que le bruit, que l'on s'évertue à mesurer avec beaucoup d'efforts et d'application.

Une extrême prudence s'impose donc pour comparer entre eux "les bruits" des différents bassins-versants ou ceux enregistrés par ailleurs sur d'autres dispositifs expérimentaux. Par contre, il est évident que la notion de transports solides garde tout son sens, si l'on considère les impacts plus à l'aval sur la qualité des eaux ou sur les processus de sédimentation.

On a d'autre part mesuré le pouvoir érosif du sol au moyen d'une parcelle standard : appelé parcelle Wischmeier.

Sur une parcelle au sol nu régulièrement travaillé (ratissage après chaque averse) les transports solides atteignent des valeurs impressionnantes, si l'on se rapporte à l'érosion mécanique sous forêt (en moyenne : 0,11 tonnes.ha^{-1} sur la parcelle A – Fig. 11).

- 1979 (sur trois mois) : 53,3 tonnes.ha^{-1}
- 1979-80 : 109 tonnes.ha^{-1}
- 1980-81 : 87,1 tonnes.ha^{-1}
- 1981-82 : 44,2 tonnes.ha^{-1}

En fait dans l'équation universelle de Wischmeier cela correspond à une susceptibilité des sols à l'érosion faible, puisque seule la première année le facteur K atteint 0,10.

Neanmoins l'érosion qui se produit alors est déterminante puisqu'elle conduit à l'exportation de la fraction granulométrique fine du sol. La diminution du facteur K les années suivantes est le fait qu'en surface il ne reste qu'un pavage de nodules qui ne sont plus mobilisables par les eaux de ruissellement et le potentiel agronomique du sol est devenu pratiquement nul.

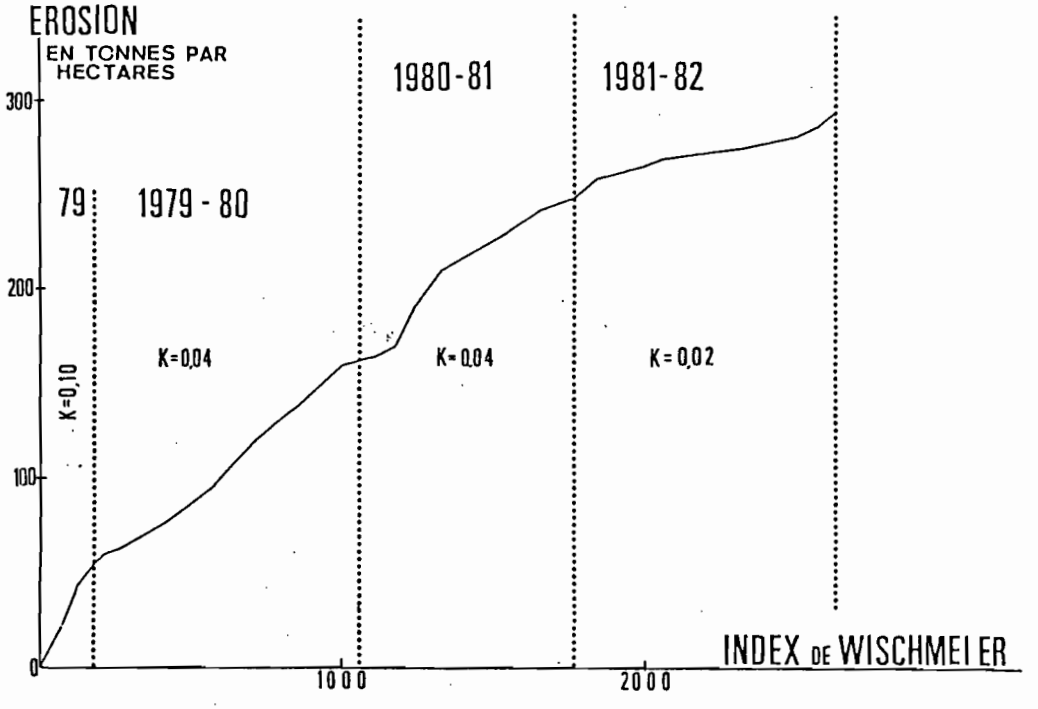


Fig. 11 : Erosion sur la parcelle Wischmeier en fonction de l'érosivité de la pluie.

5. EROSION SOUS PRAIRIES ARTIFICIELLES

Les résultats globaux (tableau G), portent la moyenne interannuelle des transports solides, calculés sur les deux années 1980 et 1981 à 541 kg.ha^{-1} sur la bassin A (Digitaria swazilandensis) et à 106 kg.ha^{-1} sur le bassin C (Brachiaria U.S.D.A.). La comparaison faite à partir du bassin-témoin pendant cette même période permet d'estimer ces valeurs comme étant 3,2 fois supérieures à ce que l'on aurait observé sous forêt sur le bassin A, et 2,4 fois supérieures à cette même référence sur le bassin C.
Les valeurs absolues et relatives sont assez faibles, surtout si l'on considère qu'une partie d'entre-elles ont été mesurées pendant la période immédiatement postérieure à la mise en place de l'aménagement.

On constate cependant une différence importante entre les deux systèmes, dans un rapport de 1 à 5 environ. Ceci s'explique d'abord par les ruissellements qui ont été deux fois plus importants sur A que sur C, en raison des conditions pédologiques initiales mais aussi sans doute par les caractéristiques de chacune des espèces fourragères considérées.

En effet, la masse totale des sédiments exportés au bassin A en 1980 et 1981, soit 1081 kg.ha^{-1} pour une lame écoulée pendant les crues de 1219 millimètres, correspond à une concentration moyenne des eaux de 99 milligrammes par litre.

Sur le bassin C, ce calcul à partir des mêmes paramètres qui valent respectivement 212 kg.ha^{-1} et 639 millimètres déterminent des concentrations moyennes qui ne sont que de 33 mg.l^{-1}.

Ces différences semblent bien pouvoir être imputées principalement aux qualités antiérosives différentes des deux fourrages car les taux mesurés sur parcelles de 200 m², implantées sur une même complexe pédologique (type bassin A) fournissent des résultats qui vont dans le même sens que ceux des bassins-versants (J.M. SARRAILH, 1983) (fig. 12).

	Bassin A	Bassin B
Suspension (Kg.ha^{-1}) accroissement	422 x 2.8	74 x 2.1
Charriages (kg.ha^{-1}) accroissement	119 x 6.1	32 x 3.6
Transports solides d'origine mécanique accroissement	541 x 3.2	106 x 2.4

TABLEAU 6 : Transports solides annuels par suspension et par charriage (en kg.ha-1) sous paturage.

Bassin A : Digitaria swazilandensis, brouté Bassin B : Brachiaria U.S.D.A., fauché

Période de référence : 1980 - 1981

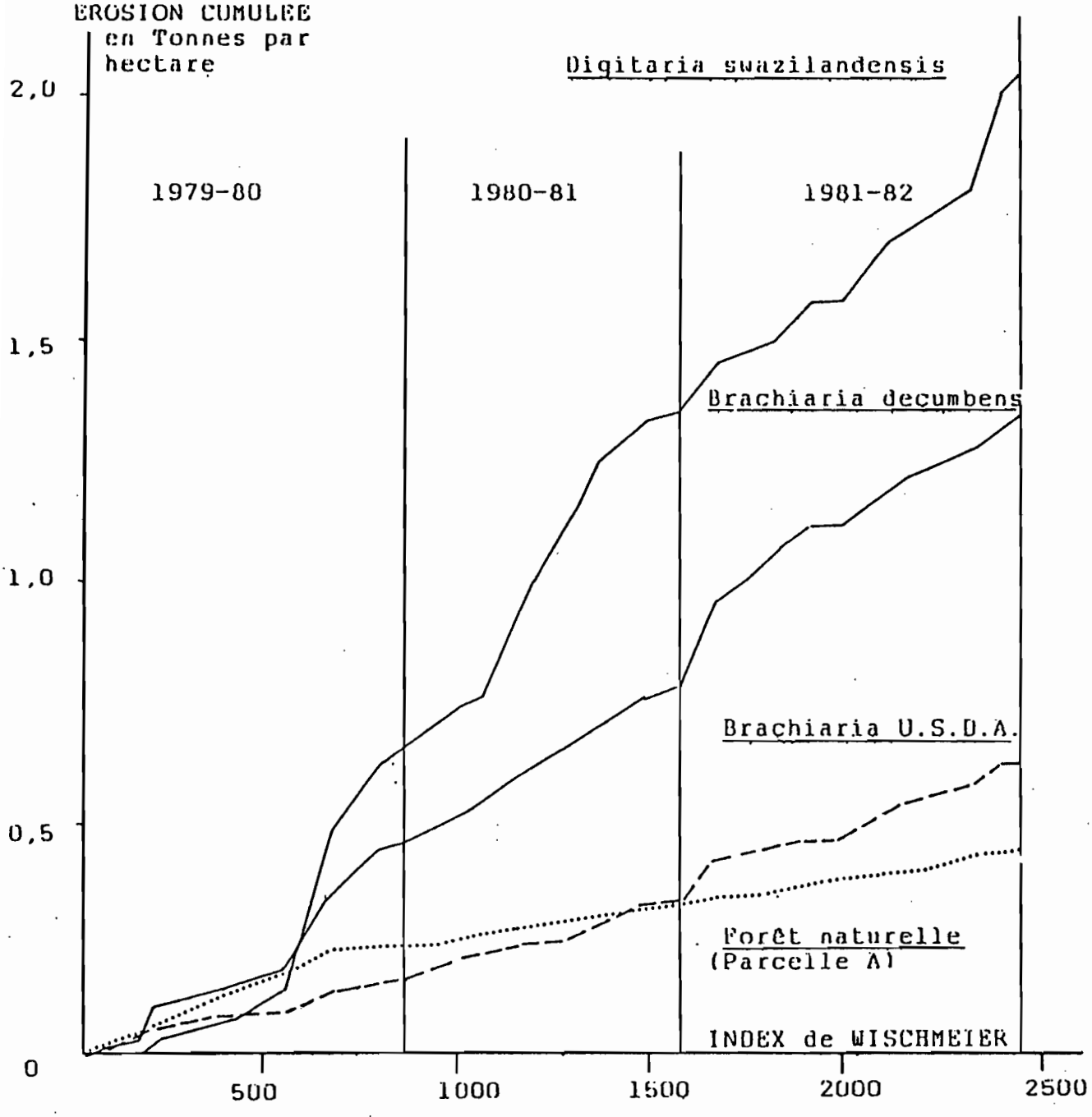


Fig. 13 :

EROSION CUMULEE SUR DES PARCELLES PATURAGES EN FONCTION DE L'EROSIVITE DE LA PLUIE ET EN COMPARAISON AVEC UNE PARCELLE EN FORET PRIMAIRE (Parcelle A)

Pour Digitaria swazilandensis, la moyenne interannuelle de l'érosion s'établit à 700 kg.ha^{-1} pour 983 mm d'écoulement recueillis, donc une teneur moyenne de 71 mg.l^{-1}, alors que la concentration calculée sur Brachiaria U.S.D.A vaut 19 mg.l^{-1}. Les valeurs sur parcelles et sur bassins évoluent donc de façon tout à fait comparable, avec cependant des taux supérieurs sur les bassins (fig. 13).

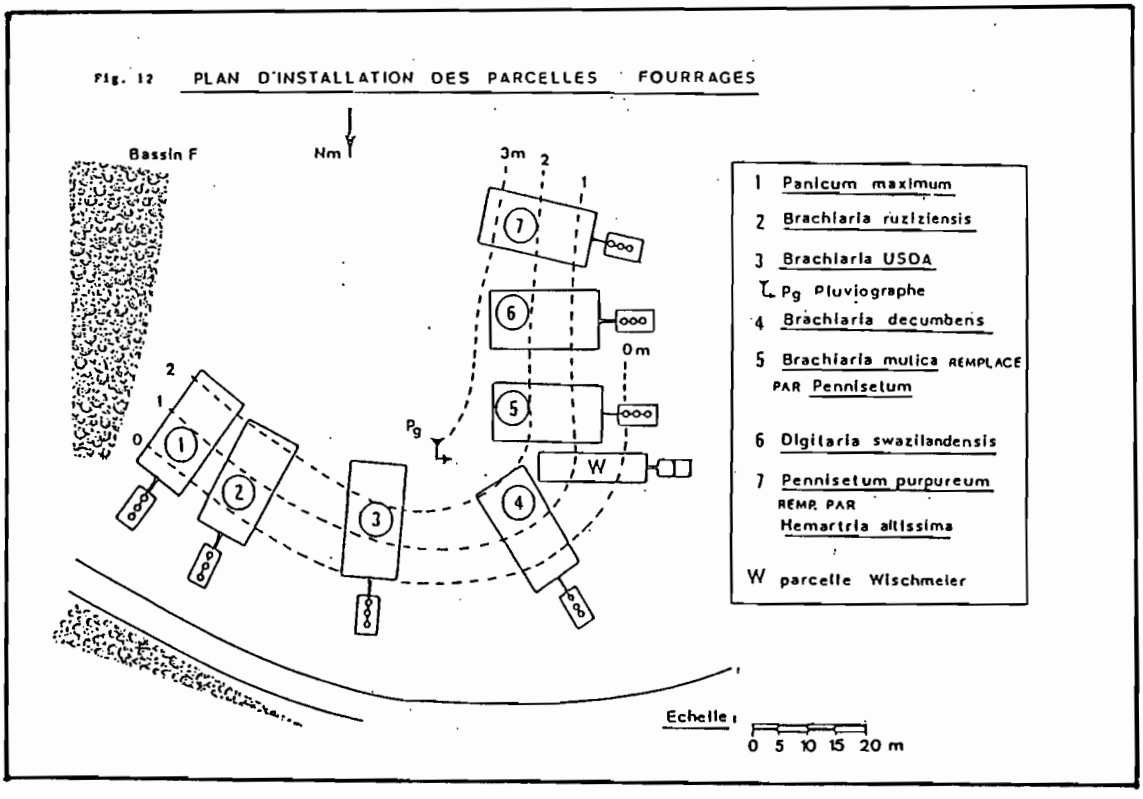
Si l'on admet que cela n'est pas du à un effet d'échelle, on peut penser qu'avec Digitaria swazilandensis le passage de 71 à 99 mg.l^{-1} tient à la présence des bovins sur le bassin-versant.

Ces conséquences de la charge animale sur l'érosion ne paraissent pas considérables ; il faut cependant noter que ce pâturage fait l'objet d'un protocole d'exploitation très soigné, qui comporte une rotation permanente des animaux dans des placeaux clôturés, ce qui limite au maximum la dégradation du pâturage et donc les effets sur l'érosion (M. BEREAU et J.M. SARRAILH, 1985).

Pour Brachiaria U.S.D.A., la valeur plus forte du bassin par rapport à la parcelle s'explique probablement par le fait que ce fourrage n'occupe pas la totalité du bassin-versant, puisqu'un anneau de sol nu est maintenu artificiellement au pied de chacun des plants de pomélos.

En conclusion l'érosion sur les pâturages semble assez réduite, surtout si on la compare avec celle qui se produit l'année du défrichement. Il reste à déterminer par une étude agropédologique plus complète si ces valeurs de 541 kg.ha^{-1} (bassin-versant A) et de 106 kg.ha^{-1} (bassin-versant C) sont compatibles avec une conservation des sols à long terme, compte tenu de la nature et de la vitesse des processus pédogénétiques en Guyane.

On peut néanmoins constater que la productivité des pâturages se maintient à un niveau constant pendant cinq ans, au prix d'une fertilisation importante, mais indispensable pour ce type d'aménagement et plus particulièrement sur système pédologique à drainage bloqué.



6. CONCLUSION

Comme on a pu le constater, l'érosion sous forêt est d'intensité très faible : 50 à 700 $kg.ha^{-1}.an^{-1}$. Les valeurs n'en sont cependant pas aléatoires, mais sous la dépendance étroite du ruissellement, qui est extrêmement variable en Guyane française en fonction des caractéristiques hydrodynamiques des sols.

L'index de Wischmeier n'est pas très performant pour la détermination de cette érosion sous forêt. En revanche il est tout à fait intéressant de constater la concordance remarquable des résultats obtenus en bassins-versants et en petites parcelles d'érosion.

Le défrichement mécanisé produit des bouleversements importants dans la production des transports solides qui sont augmentés selon des facteurs qui ont atteint 50 fois ceux du milieu naturel.

Dans l'absolu ces débits solides sont déjà considérables - de 3 à 17 tonnes par hectare et par an - mais ne constituent qu'un lointain indicateur des effets érosifs nés sur les versants des bassins, surtout si le défrichement s'est effectué en saison des pluies.

Les transports solides mesurés sur ces mêmes bassins et sur des parcelles retrouvent, après implantation de prairies naturelles, les valeurs modérées de 100 à 500 $kg.ha^{-1}.an^{-1}$ qui représentent pourtant 2 à 3 fois celles de la forêt sur ces bassins avant l'aménagement.

Ce constat relativement rassurant ne concerne qu'un aspect très particulier des effets de la déforestation ; il faut aussi considérer que ces résultats sont obtenus sur des bassins-versants de superficie réduite : environ un hectare. Ils ne peuvent donc constituer un prétexte ou une incitation à l'abattage et à l'exploitation spéculative de la forêt amazonienne En effet la déforestation et surtout le défrichement, par la façon dont ils sont réalisés, vont très largement conditionner l'avenir des futurs aménagement

LEGENDE DES FIGURES

Figure 1 : Dispositif général.

Figure 2 : Plan du système de récupération des eaux et des transports solides sur parcelle.

Figure 3 : Jaugeur H Flume et fosse à sédiment utilisés sur bassin-versant.

Figure 4 : Régime pluviomètrique à ECEREX.

Figure 5 : Double masse entre écoulement sur parcelle et sur bassin sous forêt naturelle.

Figure 6 : Histogramme des concentrations de matières en suspension sur les bassins-versants.

Figure 7 : Transports solides par suspension dans l'écosystème forestier en fonction de l'écoulement total annuel et du ruissellement annuel.

Figure 8 : Evolution de l'érosion sous forêt naturelle, sur la parcelle A et le bassin B, et de l'index de pluie de Wischmeier IW de 1979 à 1980-81.

Figure 9 : Evolution comparée des transports solides en suspensions et en charriages sur les bassins expérimentaux A et C avec ceux du bassin-témoin B.

Figure 10 : Erosion après défrichement sur les versants du bassin H (valeurs moyennes, par transect, en millimètres.

Figure 11 : Erosion sur la parcelle Wischmeier en fonction de l'érosivité de la pluie.

Figure 12 : Plan d'installation des parcelles fourrages.

Figure 13 : Erosion cumulée sur des parcelles pâturages en fonction de l'érosivité de la pluie et en comparaison avec une parcelle en forêt primaire (Parcelle A).

B I B L I O G R A P H I E

. BEREAU M., SARRAILH J.M., 1985. Un aspect de la perennité de Digitaria swazilandensis pâturé : évolution du rendement en milieu déforesté. Communication au colloque INRA - SAD en Guyane. Dec. 1985.

. BOULET R., CHAUVEL A., HUMBEL F.X., LUCAS Y., 1982. Analyse structurale et cartographie en pédologie. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol XIX, n°4, 1982 : 309-351.

. BOYER M., 1976. Atlas de la Guyane - Planche géomorphologie O.R.S.T.O.M. - C.N.R.S. 1979.

. CHOUBERT B., 1974. Le précambrien des Guyanes. Paris, mém. B.R.G.M. 1974, 204 p.

. FRITSCH J.M., 1983. Evolution des écoulements, des transports solides à l'éxutoire 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, 197-214.

. FRITSCH J.M., 1984. Les transports solides. Etudes d'impact de l'aménagement de Petit-Saut sur le Sinnamary. ORSTOM. Cayenne. multigr. 42 p.

. FRITSCH J.M., 1986. L'augmentation du ruissellement après défrichement mécanisé de la forêt amazonienne. Les bassins-versants "ECEREX" en Guyane française. Communication aux XIX ème journées de l'hydraulique organisées par la Société Hydrotechnique de France. Paris. Sept. 1986.

. ROCHE M.A., 1982. Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier amazonien à Ecérex, en Guyane. Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol., vol XIX, n°2, 1982 : 81-114.

. ROOSE E., 1980. Dynamique actuelle de sols ferralitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique Occidentale. Thèse Docteur es Sciences Université d'Orléans.

. SARRAILH J.M., 1983. Les parcelles élémentaires d'étude du ruissellement et de l'érosion. Synthèse après quatre années d'études - in "le Projet ECEREX, compte-rendu des journées de Cayenne" (4 - 8 mars 1983), 394-403.

. SARRAILH J.M., 1984. Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais. Opération ECEREX : résumé des premiers résultats. Revue Bois et Forêts des Tropiques, n°206, 4e trimestre 1984, 13-32.

. WILLIAMS J.R., 1971. Sediment - yield prediction with universal equation using runoff energy factor - in present and prospective technology for predicting sediment yields and sources. Proceedings of Sediment - Yield Workshop. USA Sediment Laboratory. Oxford Miss - nov. 1972. ARS s-40- june 75.