

MODIFICATIONS DES ECOULEMENTS APRES DEFRICHEMENT ET
AMENAGEMENTS AGRO-FORESTIERS DE BASSINS VERSANTS
EXPERIMENTAUX EN GUYANE FRANCAISE

-O-

J.M. FRITSCH
Maître de Recherches

O.R.S.T.O.M.

--φ--φ--φ--φ--

1 - L'EXPERIMENTATION HYDROLOGIQUE DANS LE CADRE DU PROGRAMME D'ETUDE
ET 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 FRANCAISE 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 réfléchi 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.

Ce travail fait le point des modifications du régime hydrologique, telles qu'elles étaient mesurées à la fin de 1981 sur 4 bassins versants constituant 2 groupes distincts, chacun de ceux-ci étant associé à un bassin témoin en forêt primaire.

2 - CARACTERISATION SOMMAIRE ET HISTORIQUE DE L'EXPERIMENTATION DES BASSINS ETUDIES

Le premier groupe de bassins, associé au témoin B, se compose des bassins A et C.

2.1. Le bassin A

C'est un bassin versant exclusivement composé de sols à drainage bloqué. Les eaux pluviales s'infiltrant peu et peu profondément, saturent rapidement l'horizon superficiel et s'écoulent latéralement au contact d'un horizon compact, en utilisant la macro-porosité importante de l'horizon superficiel. La surface drainée est de 1,3 hectare au déversoir de mesures. Les pentes des versants sont de l'ordre de 15 à 20 %.

Les données hydrologiques sont collectées depuis janvier 1977 en milieu naturel originel, qui est resté intact jusqu'en septembre 1978.

En octobre et novembre de cette même année ont eu lieu le "déforestation", c'est-à-dire l'abattage à la scie à chaîne de tous les arbres de plus de 20 centimètres de diamètre, suivi d'un "défrichement" mécanisé opéré par un tracteur à chenilles équipé à l'avant d'une lame coupante (lame ROME) et à l'arrière d'un rateau andaineur hydraulique utilisé pour dessoucher.

.../...

Le bassin, à l'état de sol nu au début de la saison pluvieuse, en décembre 1978, a conservé cette caractéristique jusqu'au 10 mai 1979, date à laquelle a commencé la plantation par bouturage d'un pâturage à *Digitaria swazilandsis*. A partir de janvier 1980, ce pâturage a été constamment occupé par des bovins, à raison de 3 unités par hectare paissant par rotation dans 5 paddocks selon un protocole INRA-CTFT.

En conclusion, sur ce bassin A, de type pédologique pur, très favorable au ruissellement, on peut isoler 3 stades écologiques bien distincts :

- Forêt primaire : janvier 77 à septembre 78
- Sol nu : décembre 78 à mai 79
- Pâturage : décembre 79 à décembre 81

2.2. Le bassin C

Le bassin C est également l'image d'un type pédologique homogène et bien différencié. Plus de 95 % de sa superficie sont constitués de sols facilitant le mouvement de l'eau dans le sens vertical, et seule la partie la plus à l'aval présente une tendance à l'hydromorphie en saison pluvieuse. La surface drainée est de 1,6 hectare et la pente des versants oscille autour de 20 %.

L'historique de l'aménagement du bassin C est quasi simultané avec celui du bassin A : déforestation et défrichage en saison sèche 1978 (septembre et octobre), puis plantation d'un verger de pomelos à partir de juillet 1980 (500 pieds). Un couvert herbeux de *Bracharia* USDA est bouturé à partir du 18 décembre 1980.

En résumé, le bassin C est une unité hydrologique favorable à l'infiltration, sur laquelle on a observé les 3 états suivants :

- Forêt primaire : mai 77 à septembre 78
- sol nu : décembre 78 à juin 79
- pâturage avec
verger en crois-
sance : décembre 79 à décembre 81

2.3. Le bassin témoin B

Ce bassin situé entre A et C utilisé comme référence hydrologique naturelle s'apparente beaucoup au bassin A, selon les critères de différenciation pédologique. Sur les 1,6 hectares drainés au déversoir, plus de 1,4 hectares, soit 90 % de la surface sont constitués de sols à dynamique hydrique superficielle et latérale.

Seule la partie la plus à l'amont est représentée par des systèmes pédologiques perméables, semblables à ceux du bassin C.

Ce bassin constitue donc un témoin bien adapté pour la comparaison des écoulements avec le bassin A, puisque les mécanismes hydrologiques y sont de même nature. Le suivi du bassin C, quant à lui, devra être fait avec davantage de circonspection.

Les pentes sur ce bassin (15 %) ne sont pas de nature à introduire une distorsion de première grandeur avec A et C.

2.4. Les bassins G et H

Ce bassin fait partie du deuxième groupe G, H, et F. Les deux bassins traités sont adjacents et ont été voués à un aménagement forestier : plantation de pins caraïbes sur G et d'eucalyptus sur H.

Plus aucune trace de sols à bon drainage dans l'évolution pédologique de ces bassins. La dynamique de l'eau est superficielle, du type de celle déjà décrite sur A et B, mais par suite de la position topographique de ces bassins, toute la zone autour du talweg est fortement marquée par l'hydromorphie au point d'être occupé par une nappe, affleurante en saison des pluies. En dehors des épisodes pluvieux, cette nappe est interceptée par les fouilles du déversoir de mesure, ce qui assure à ces bassins un écoulement quasi permanent.

Les pentes sont relativement fortes sur le bassin G, jusqu'à 30 %, plus modérées en H (20 % avec des maximums à 27 %). L'impluvium de G représente 1,5 hectares et celui de H 1,0 hectare.

Les observations hydrologiques ont commencé en janvier 1978 sous forêt naturelle, puis le déforestation à la scie-tronçonneuse a eu lieu à partir de juillet 1980. Le protocole prévoyait de tester le défrichement mécanisé en saison des pluies, raison pour laquelle le débardage au tracteur à pneus n'a débuté qu'en janvier 1980, suivi par un défrichement au tracteur à chenilles, en février-mars de la même année et dans les conditions techniques semblables à celles déjà décrites sur A et C.

Finalement, la plantation d'eucalyptus (1300 pieds) a commencé en mai 1981 sur H et celle des pins en avril sur G. Les caractéristiques écologiques de ces 2 bassins en 1981, sont celles d'un défrichement ; les effets des plantations cette année là étant tout à fait dérisoires sur l'interception et l'eau dans le sol.

.../...

En conclusion, sur ce groupe de bassin pour lequel les écoulements de surface sont tout à fait prédominants, on peut analyser en fin 1981, le comportement hydrologique de deux phases :

- Forêt primaire : de janvier 78 à juillet 80
- Bassin défriché : de janvier à décembre 81

2.5. Le bassin témoin F

Ce bassin est situé à proximité immédiate de G et H, et présente des caractéristiques hydro-pédologiques tout à fait comparables à ce groupe : sols à drainage vertical bloqué, présence de nappe phréatique dans le bas fond autour du talweg. Ce témoin "parfait" draine 1,4 hectares avec des pentes de l'ordre de 25 à 30 %.

3 - EVOLUTION DE LA FONCTION DE PRODUCTION DE L'ECOULEMENT A L'ECHELLE DE LA CRUE

3.1. La relation "pluie de l'averse - ruissellement"

A ce premier stade de l'analyse on a opté pour une représentation linéaire des écoulements en fonction de la pluie. A l'échelle des crues individuelles, la variable pluie utilisée est extraite par une procédure de calcul automatique sur des fichiers pluviographiques selon le protocole suivant : on appelle AVERSE toute pluie d'au moins 1 mm séparée de l'averse précédente par une intensité inférieure à 1 mm/h pendant au moins 60 minutes.

Ce seuil de 1 mm, extrêmement bas, a dû être retenu après examen des écoulements des bassins versants, 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 figures 1a et 1b illustrent le semis des couples "lame ruissellée - pluie des averses" sur le bassin A au cours des 3 stades forêt, sol nu et pâturage, 2a et 2b concernant le bassin C pour les états forestiers, sol nu et verger sous pâturage. Enfin, les figures 3 et 4 présentent les ruissellements mesurés sur G et H dans les conditions de forêt primaire et de bassin défriché.

.../...

Les résultats et les conditions de l'ajustement par la méthode des moindres carrés font l'objet du tableau 1 suivant :

BASSIN	FORET				DEFRICHEMENT				PATURAGE			
	a	b	r	N	a	b	r	N	a	b	r	N
A	.67	-8.5	.93	80	.71	-2.8	.92	148	.63	-5.8	.86	115
C	.21	-2.5	.79	40	.37	-2.5	.86	94	.38	-5.2	.82	87
G	.93	- .8	1.0	257	.89	- .4	.98	152				
H	.68	-3.7	.92	237	.68	-3.1	.92	130				

TABLEAU 1 : pente (a), ordonnée à l'origine (b), coefficient de corrélation linéaire (r) et nombres de couples (N) de l'ajustement lame ruissellée en fonction de la pluie de l'averse génératrice en mm.

L'application de cette technique de l'ajustement du modèle linéaire nous montre que les effets de l'aménagement sont surtout sensibles sur le bassin C qui à l'origine ruisselait très peu. Ainsi pour une averse donnée de 25 mm le ruissellement passe de 2,8 mm sous forêt à 6,8 mm en sol nu et se maintient à 4,3 mm pour un jeune verger sur pâturage. Les coefficients de ruissellement de cet évènement seraient ainsi de 11 %, 27 % et 17 % pour chacun des 3 stades respectifs.

Cet accroissement est beaucoup moins net pour les bassins "ruisselants" : la même averse de 25 mm appliquée au milieu forestier, puis au sol nu donne respectivement des ruissellements de 8,3 mm et 15 mm sur A, de 22,5 mm et de 21,9 mm sur G, de 13,6 mm et de 13,9 mm sur H. Cela revient à dire que les coefficients de ruissellement passent de 33 % à 60 % sur A, et restent de l'ordre de 88 % sur G et de 55 % sur H avant et après défrichement.

3.2. La part du ruissellement dans le volume de l'hydrogramme

.../...

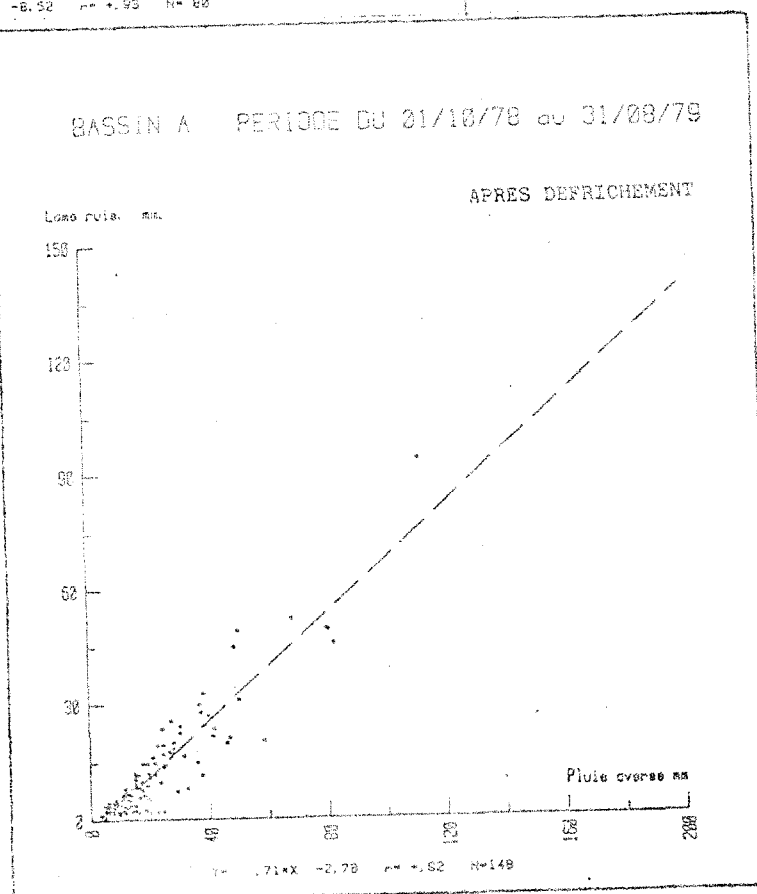
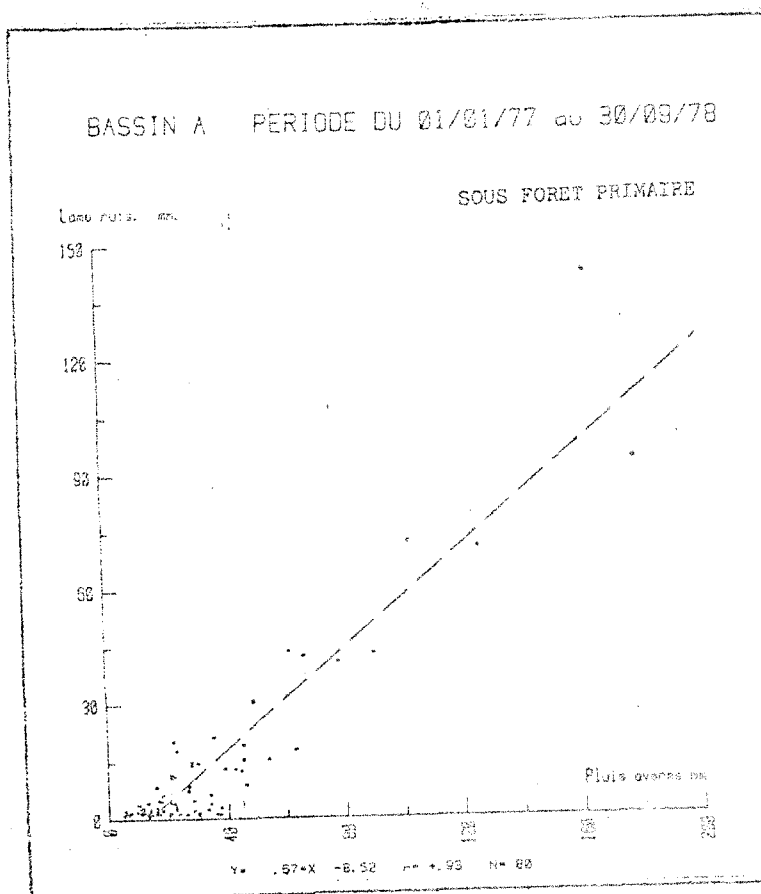


Fig 1a : Ruissellement par crue en fonction de la pluie de l'averse sous forêt primaire et après défrichement sur le bassin A.

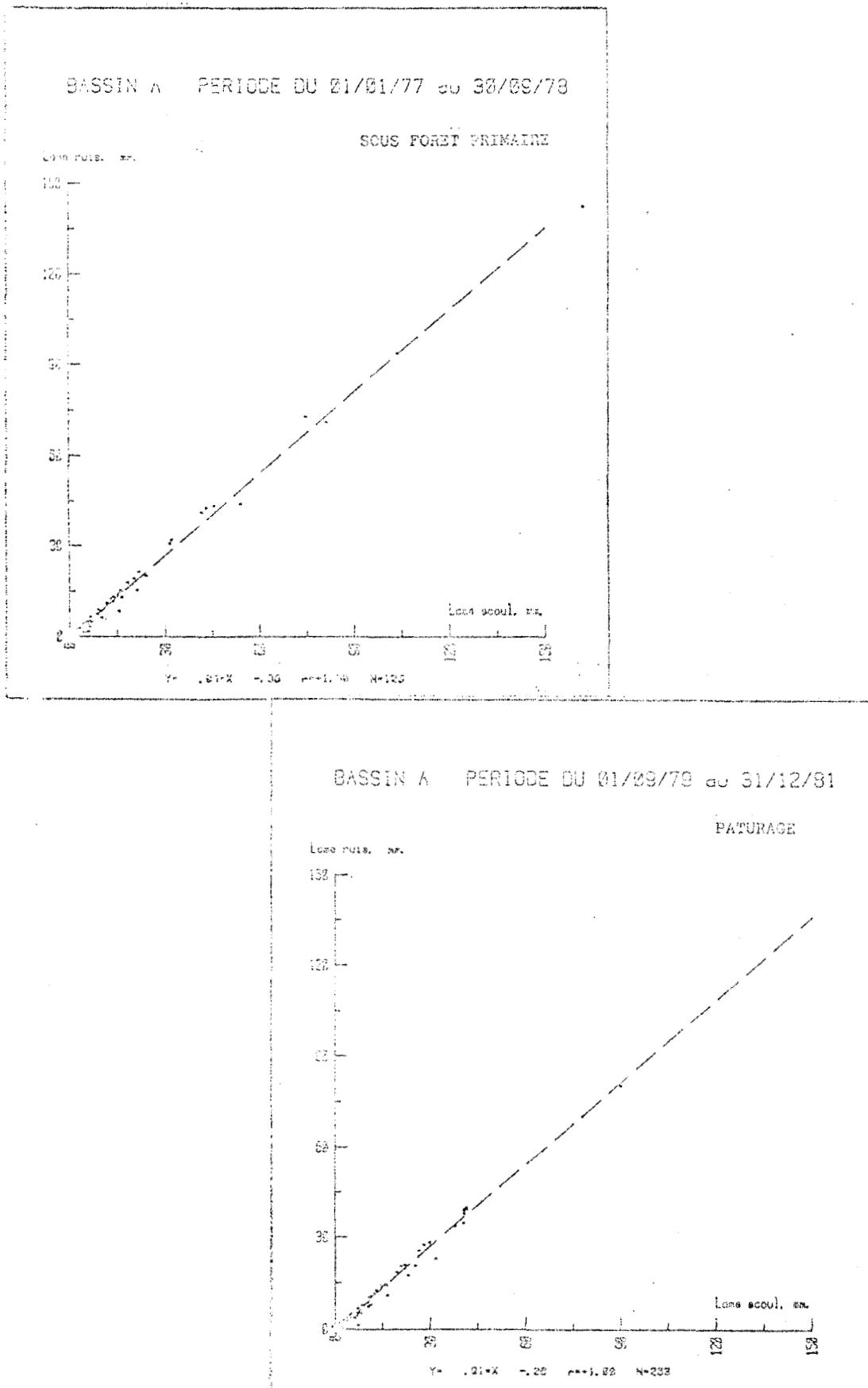


Fig. 1b : Ruissellement par crue en fonction de la pluie de l'averse sous forêt primaire et après plantation d'un pâturage sur le bassin A.

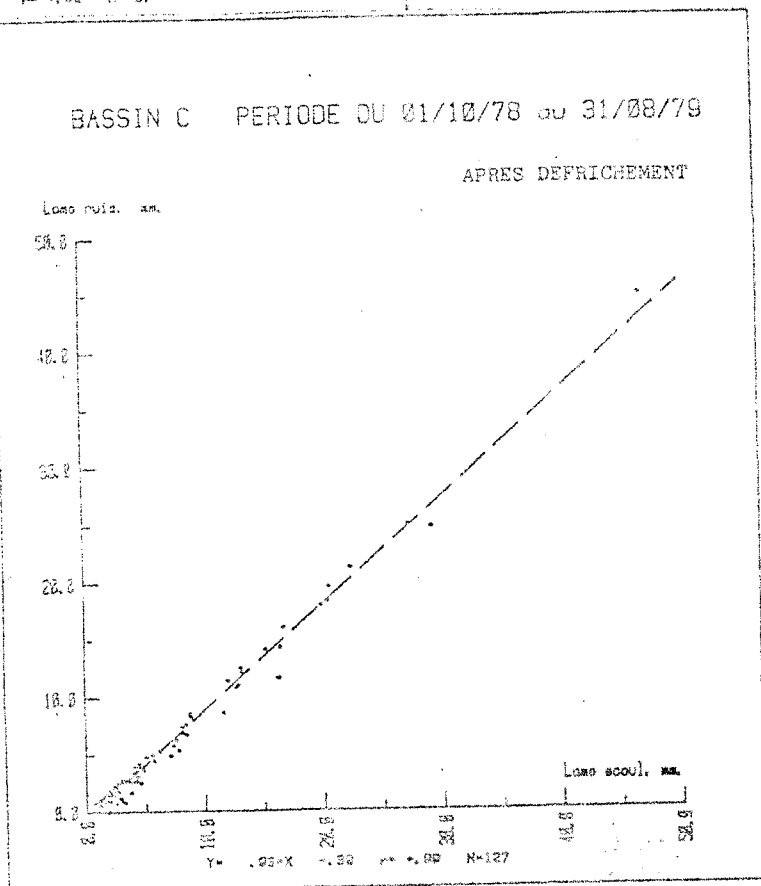
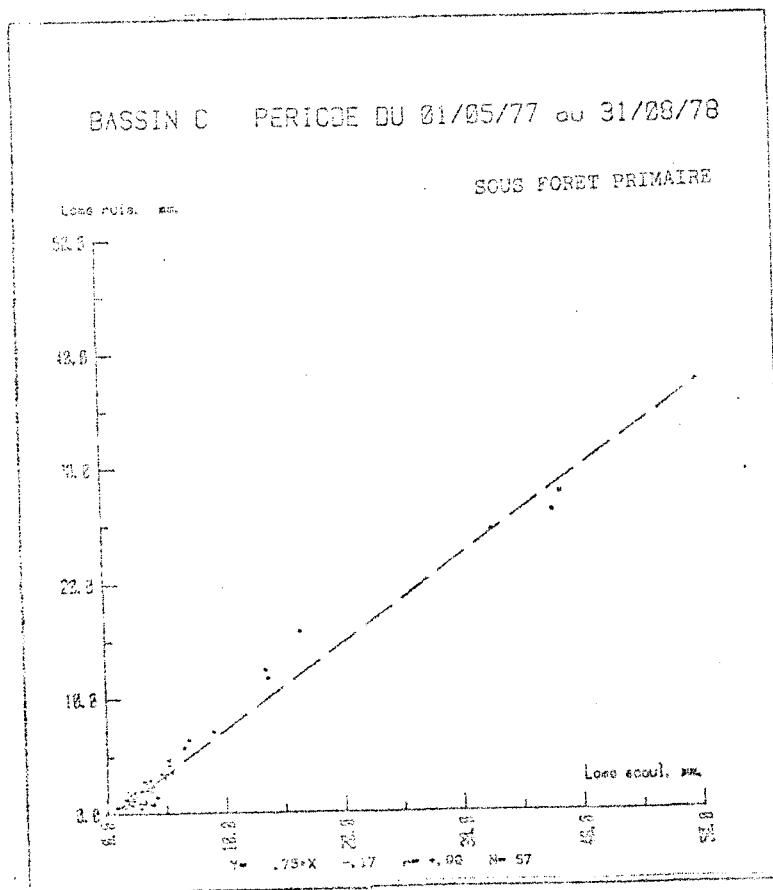


Fig. 2a : Ruissellement par crue en fonction de la pluie de l'averse sous forêt primaire et après défrichement sur le bassin C.

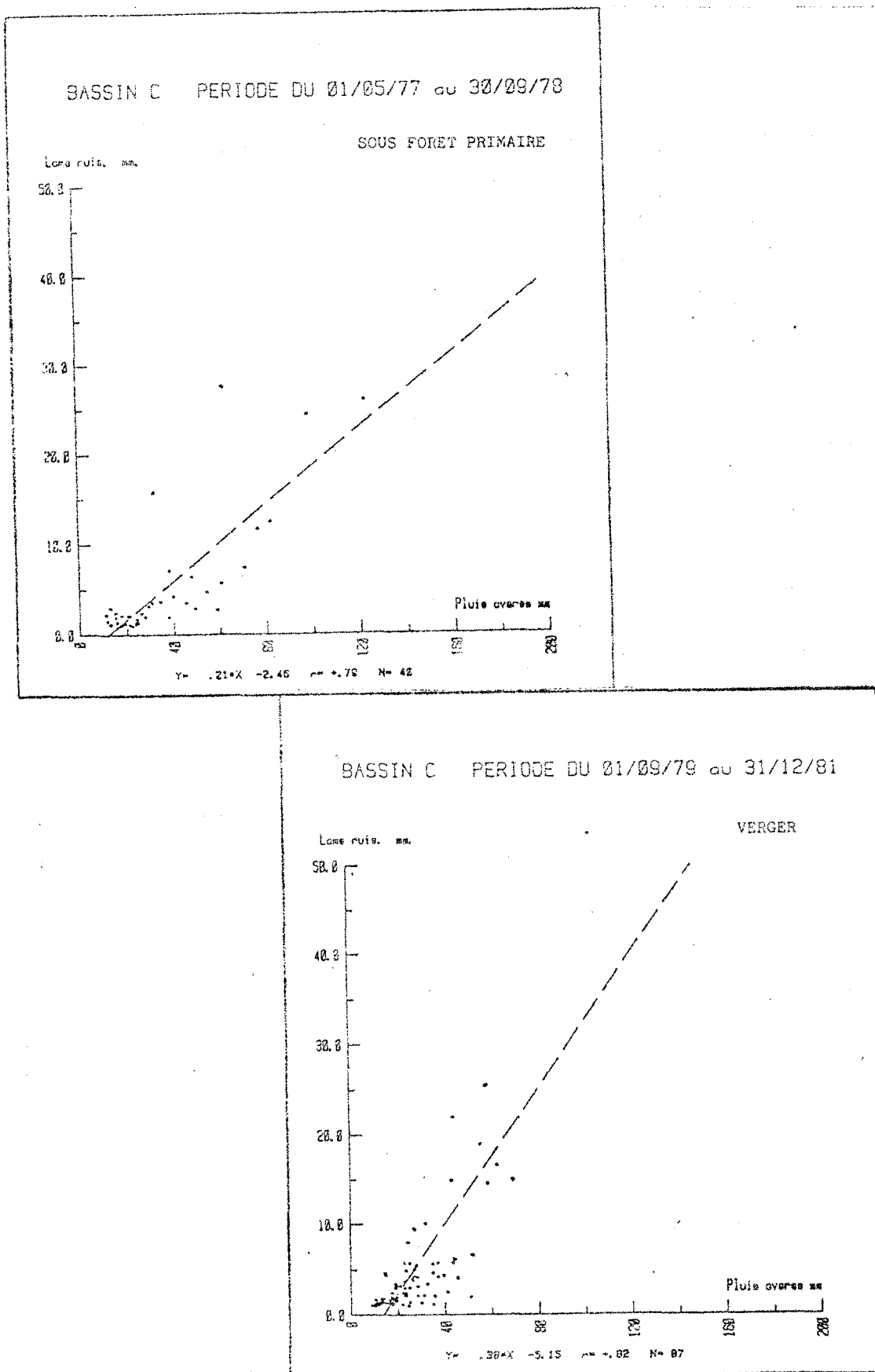


Fig. 2b : Ruissellement par crue en fonction de la pluie de l'averse sous forêt primaire et après plantation des pomélos sous pâturage de Bracharia USDA.

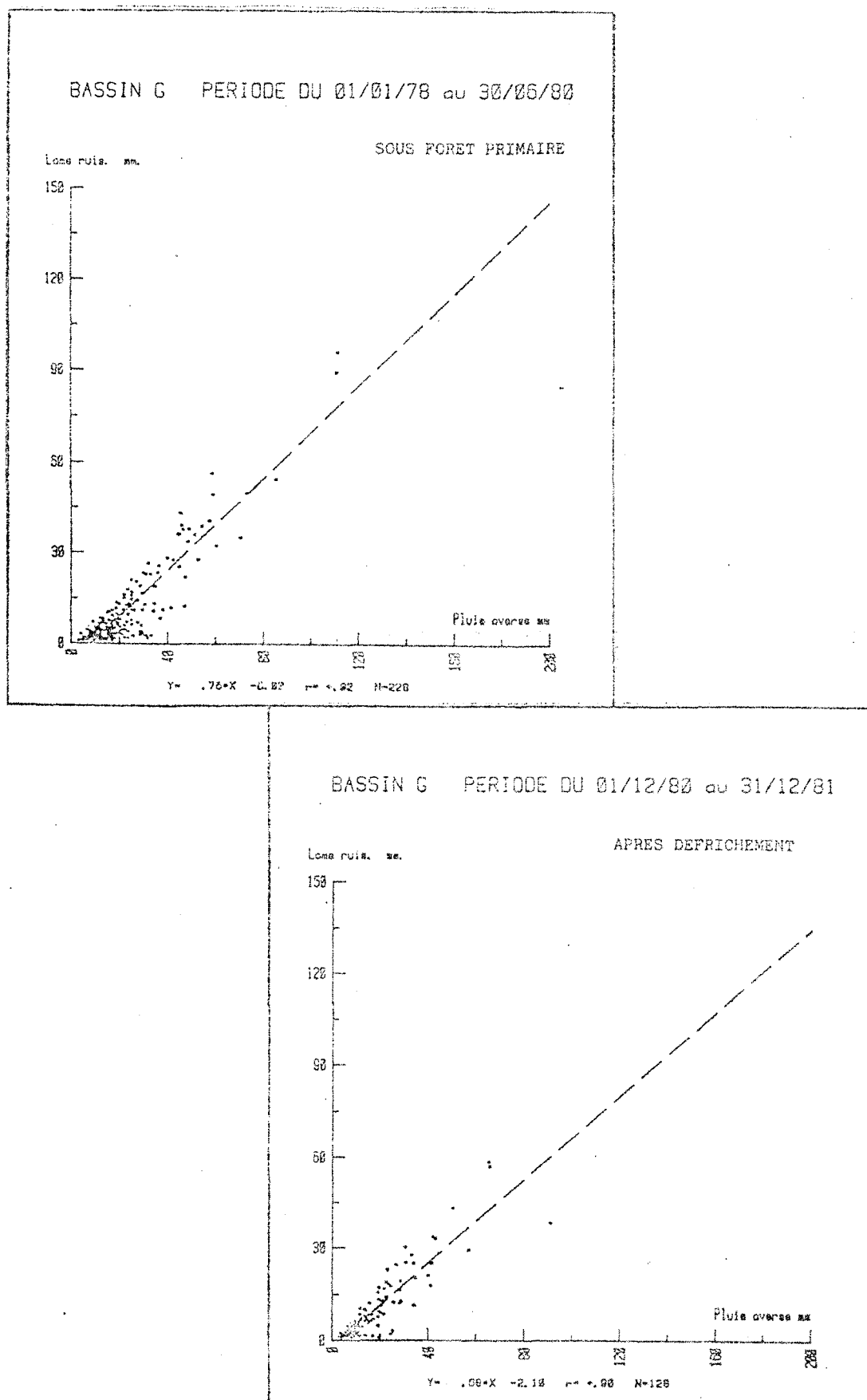


Fig. 3 : Ruissellement par crue sous forêt primaire et après défrichement du bassin versant G.

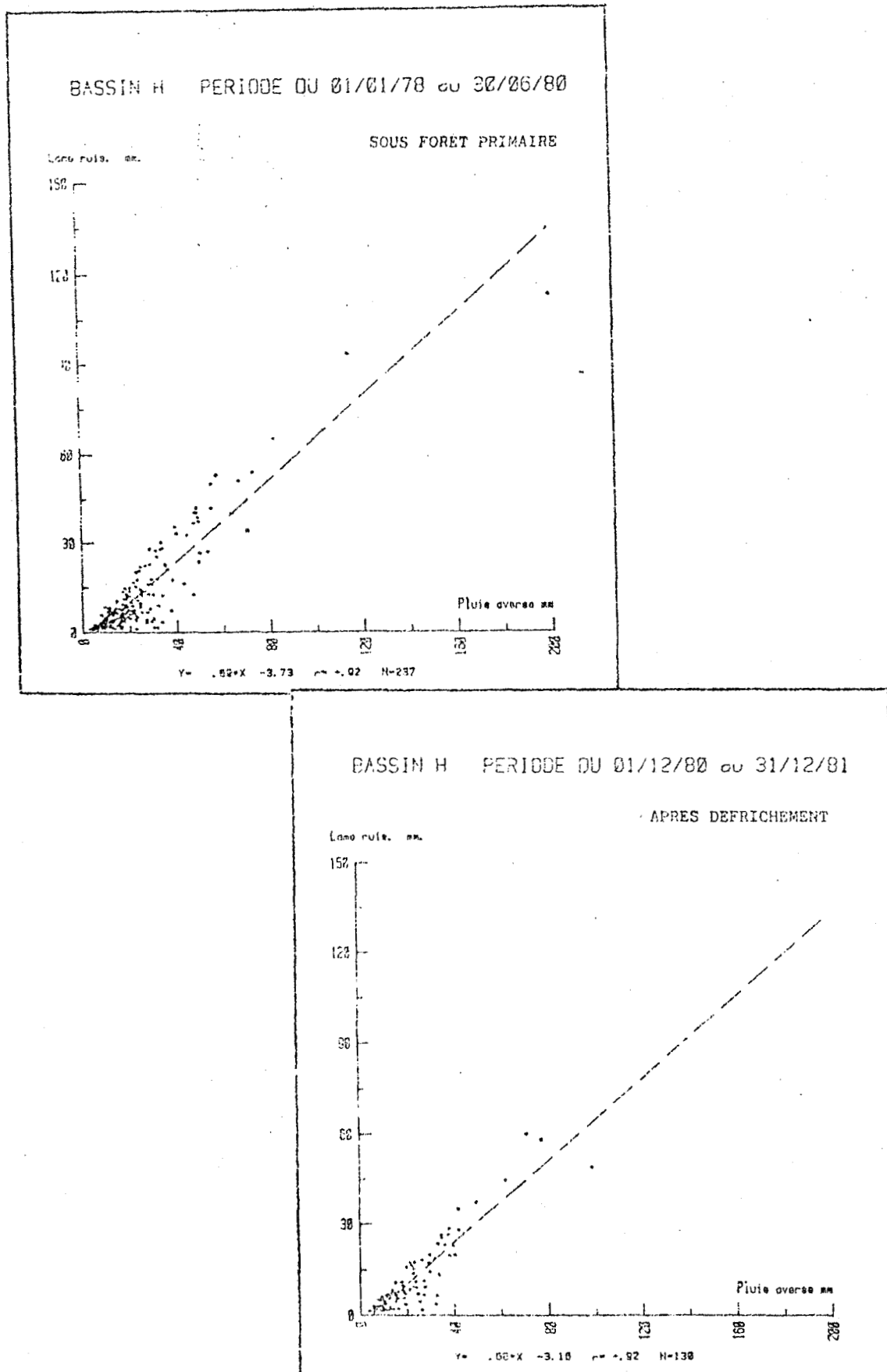


Fig. 4 : Ruissellement par crue sous forêt primaire et après défrichement du bassin versant H.

A l'échelle de la crue individuelle, il est d'usage en hydrologie de séparer le ruissellement de l'écoulement total par une méthode parfois jugée peu réaliste mais qui présente l'avantage d'une certaine objectivité et permet des comparaisons intra et inter bassins : la variation supposée linéaire du débit de base entre le début de la crue et la fin du "ruissellement". La comparaison des volumes ruisselés aux volumes écoulés par crue fait l'objet des figures 4a et 4b pour le bassin A, 5a et 5b pour le bassin C, 6 et 7 pour les bassins G et H, dans les différentes conditions de leur exploitation.

Les paramètres de ces ajustements font l'objet du tableau 2 ci-dessous :

BASSIN	FORET				DEFRICHEMENT				PATURAGE			
	a	b	r	N	a	b	r	N	a	b	r	N
A	.90	-.4	1.0	125	.95	-.5	.99	235	.91	-.3	1.0	263
C	.75	-.2	.99	57	.93	-.4	.99	127	.87	-.3	.99	139
G	.93	-.8	1.0	257	.89	-.4	.99	152				
H	.93	-.9	1.0	266	.90	-.1	.99	141				

Tableau 2 : pente (a), ordonnée à l'origine (b) coefficient de corrélation linéaire (r) et nombre de couples (N) pour l'ajustement lame ruisselée en fonction de la lame écoulée par crue en mm.

Sur 3 des bassins traités, les changements observés par cette méthode sont assez ténus. Pour le bassin A par exemple, une crue de 30 mm comporte 26,6 mm de ruissellement "pur" sous forêt soit 89 %, puis 93 % sur sol nu. Sur G cette même crue de 30 mm serait composée de 90 % de ruissellement sous forêt et de 88 % après défrichement, et respectivement de 90 % et 87 % sur H. On peut considérer que pour ces 3 bassins les changements induits par le défrichement ne sont pas significatifs. Il en va tout autrement pour le bassin C, pour lequel le fraction ruisselée passe de 74 à 92 % pour cette même crue de 30 mm.

.../...

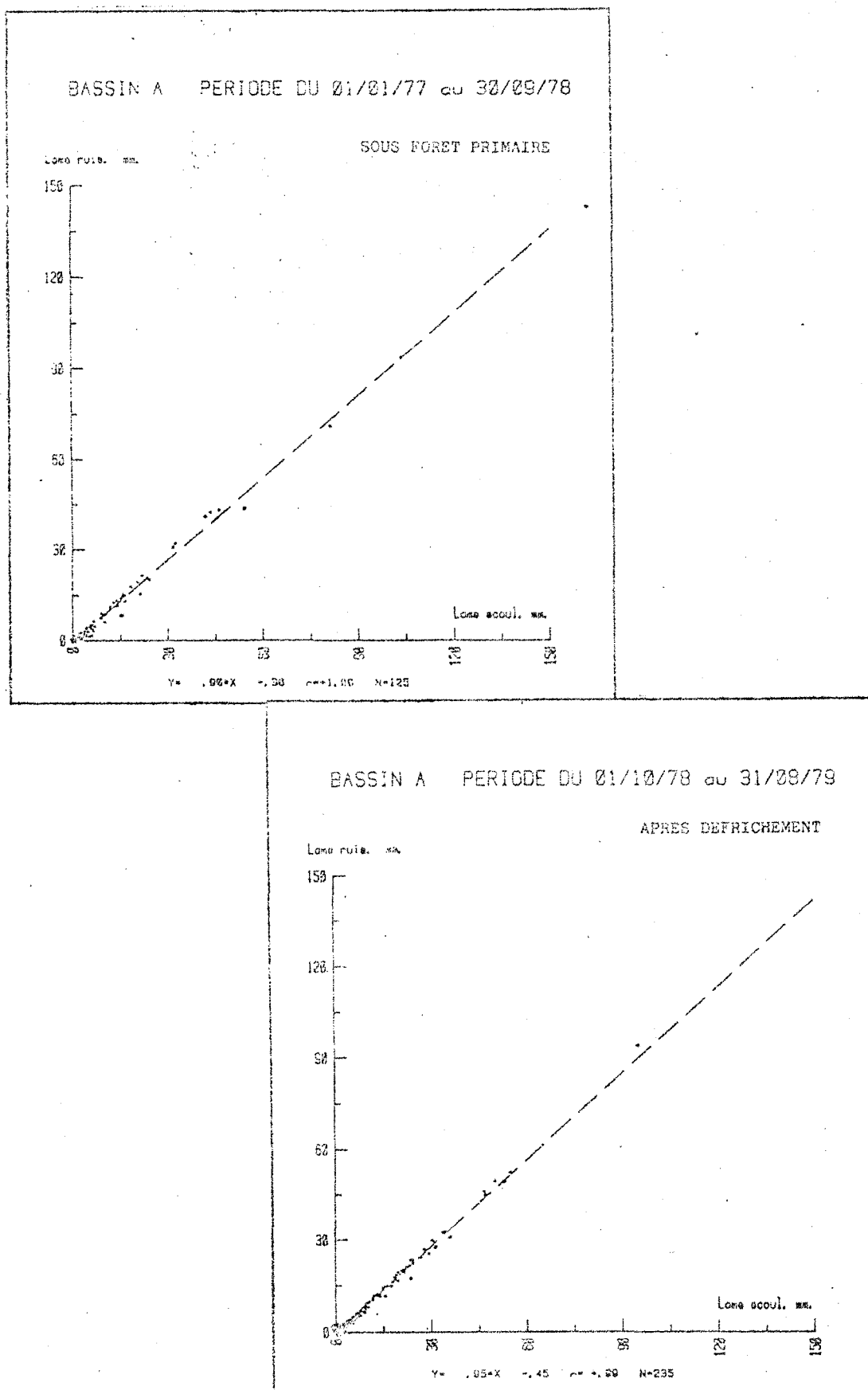


Fig. 4a : Relation ruissellement-écoulement par crue sous forêt primaire et après défrichement du bassin A.

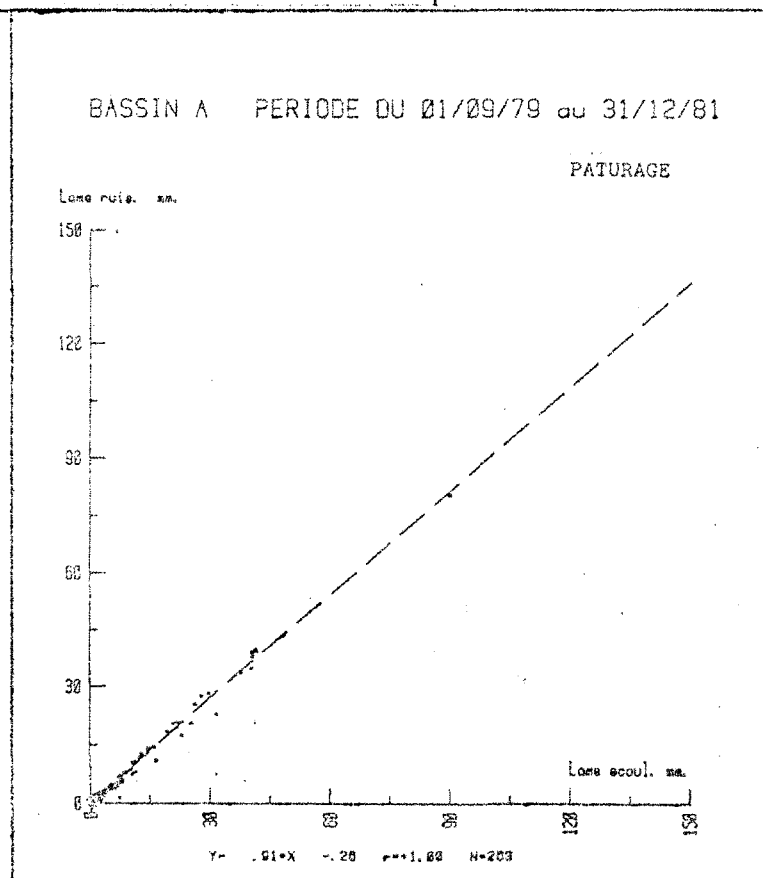
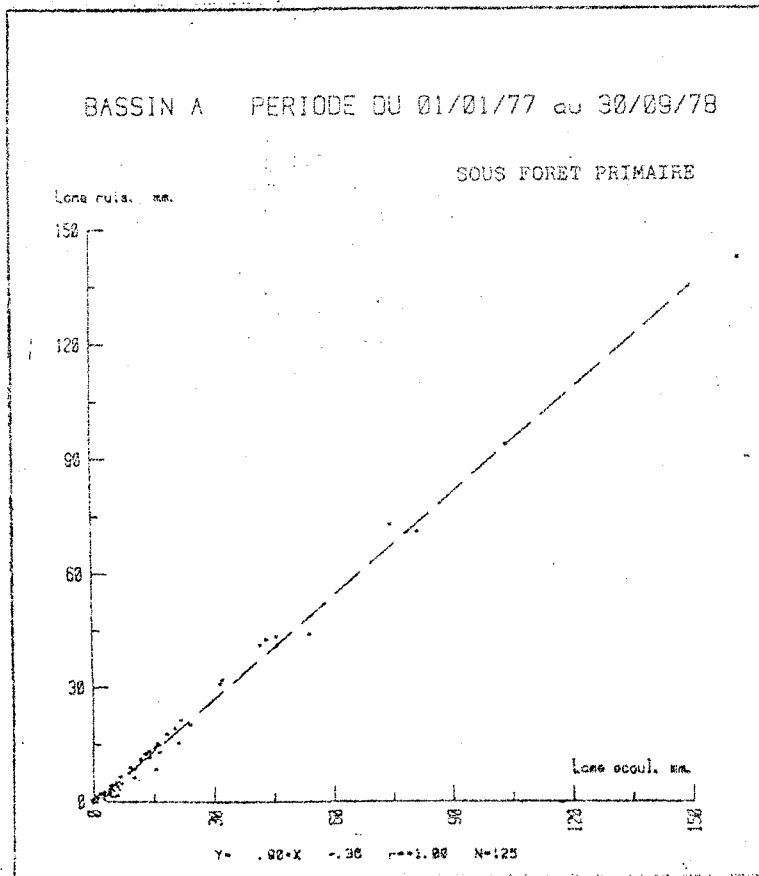


Fig. 4b : Relation Ruissellement-écoulement par crue sous forêt primaire et après plantation de *Digitaria swazilandensis* sur le bassin A.

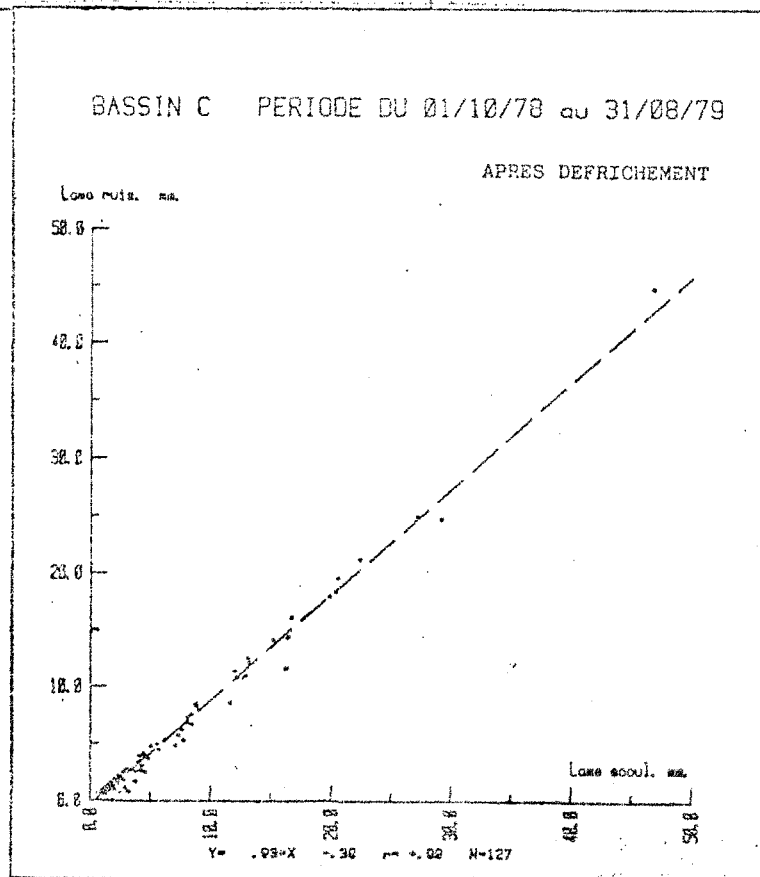
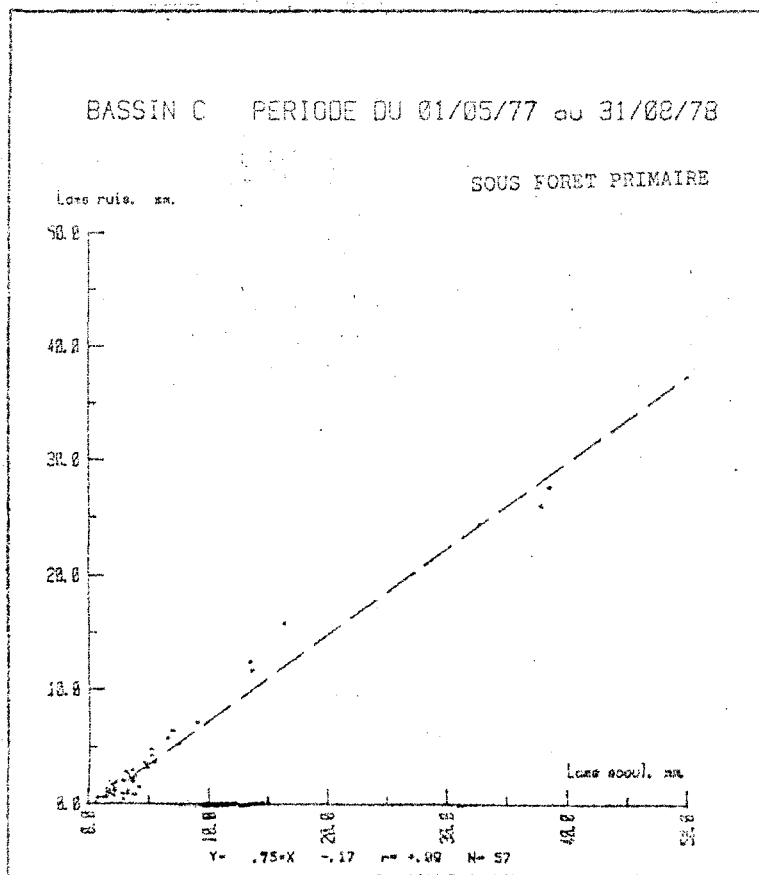


Fig. 5a : Relation Ruissellement-écoulement par crue sous forêt primaire et après défrichement du bassin C.

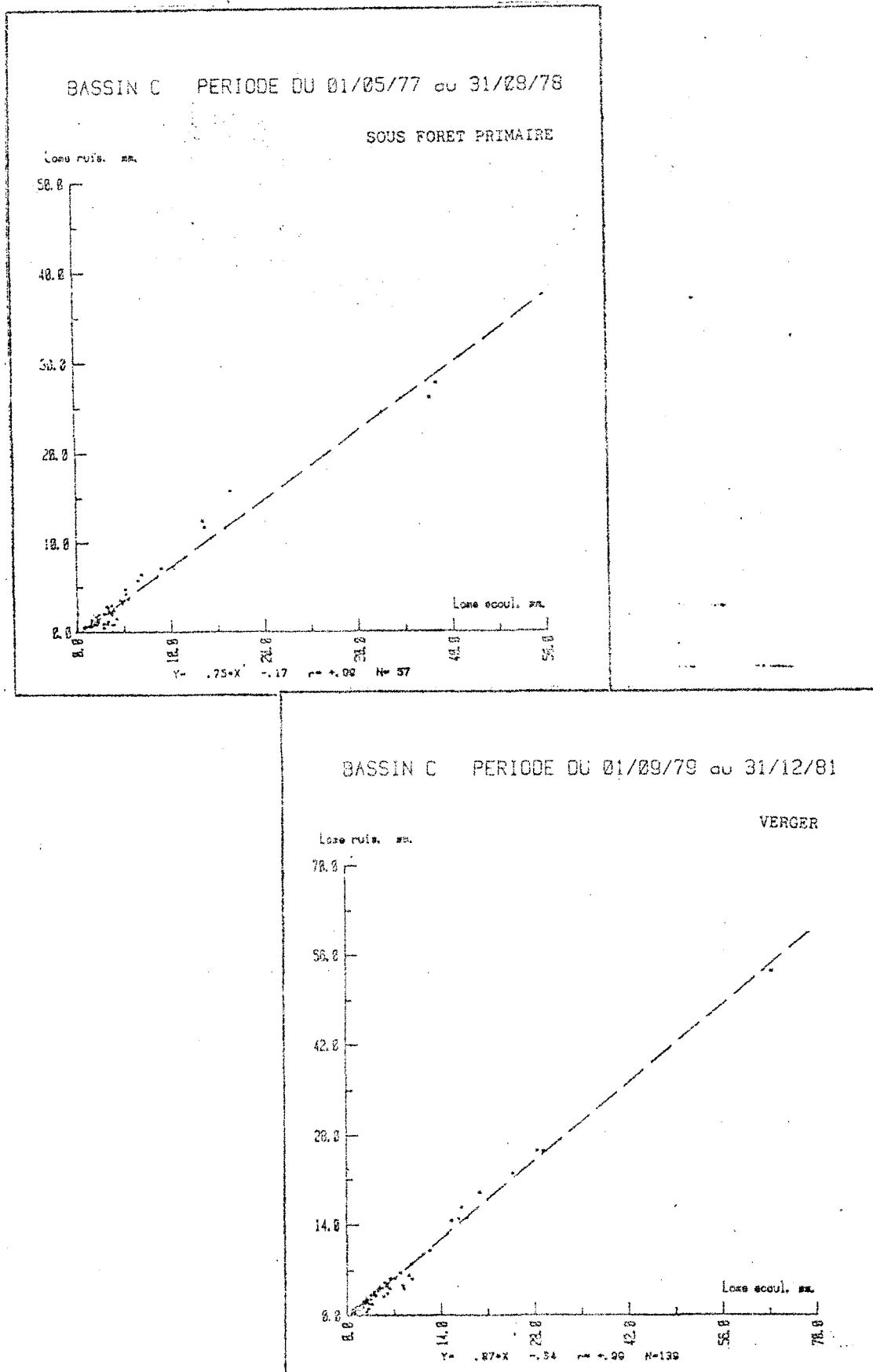


Fig. 5b : Relation Ruissellement-écoulement par crue sous forêt primaire et après plantation des pomélos et du pâturage à Bracharia USDA sur le bassin C.

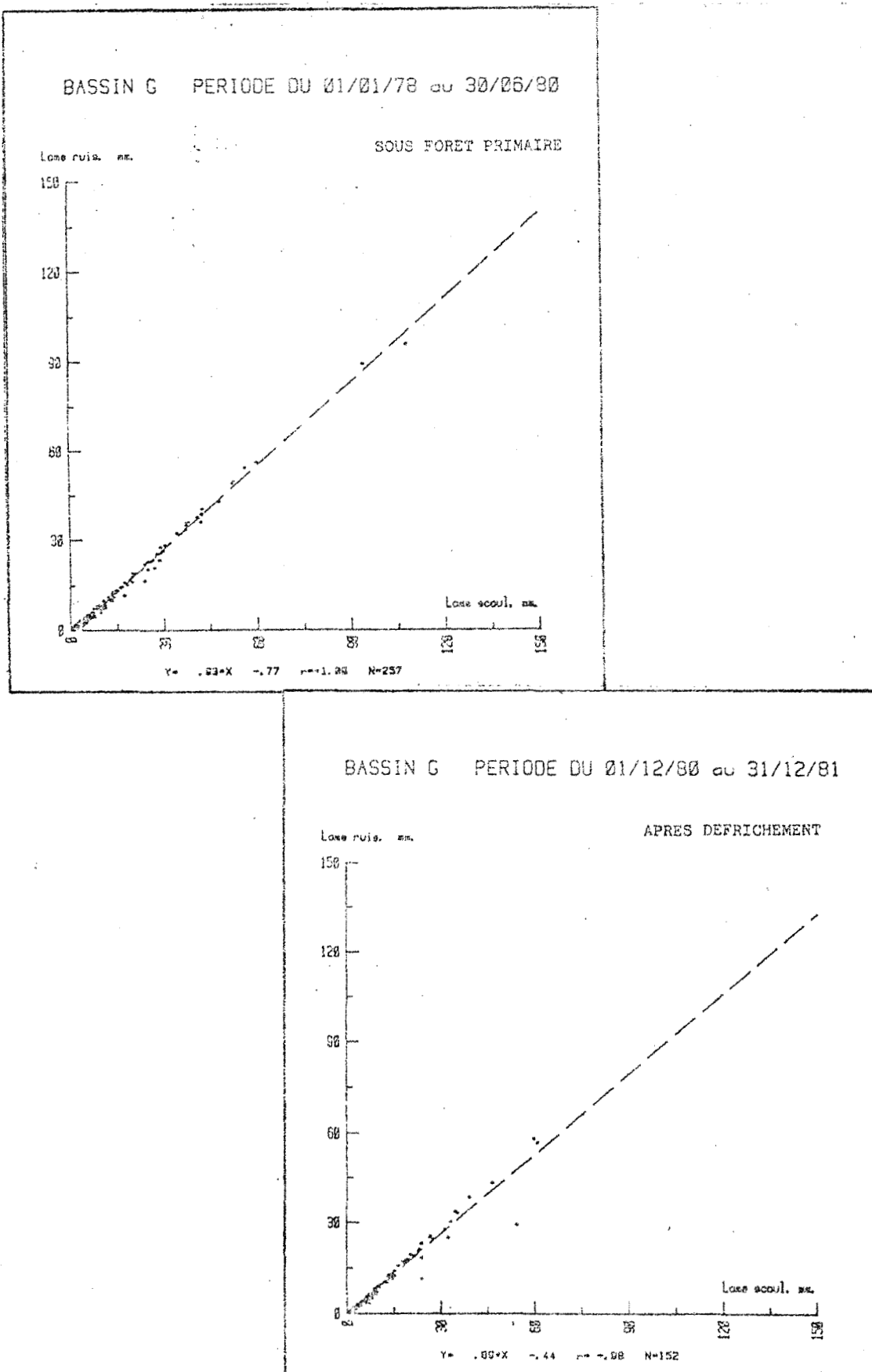


Fig. 6 : Relation Ruissellement-écoulement par crue sous forêt et après défrichement du bassin G.

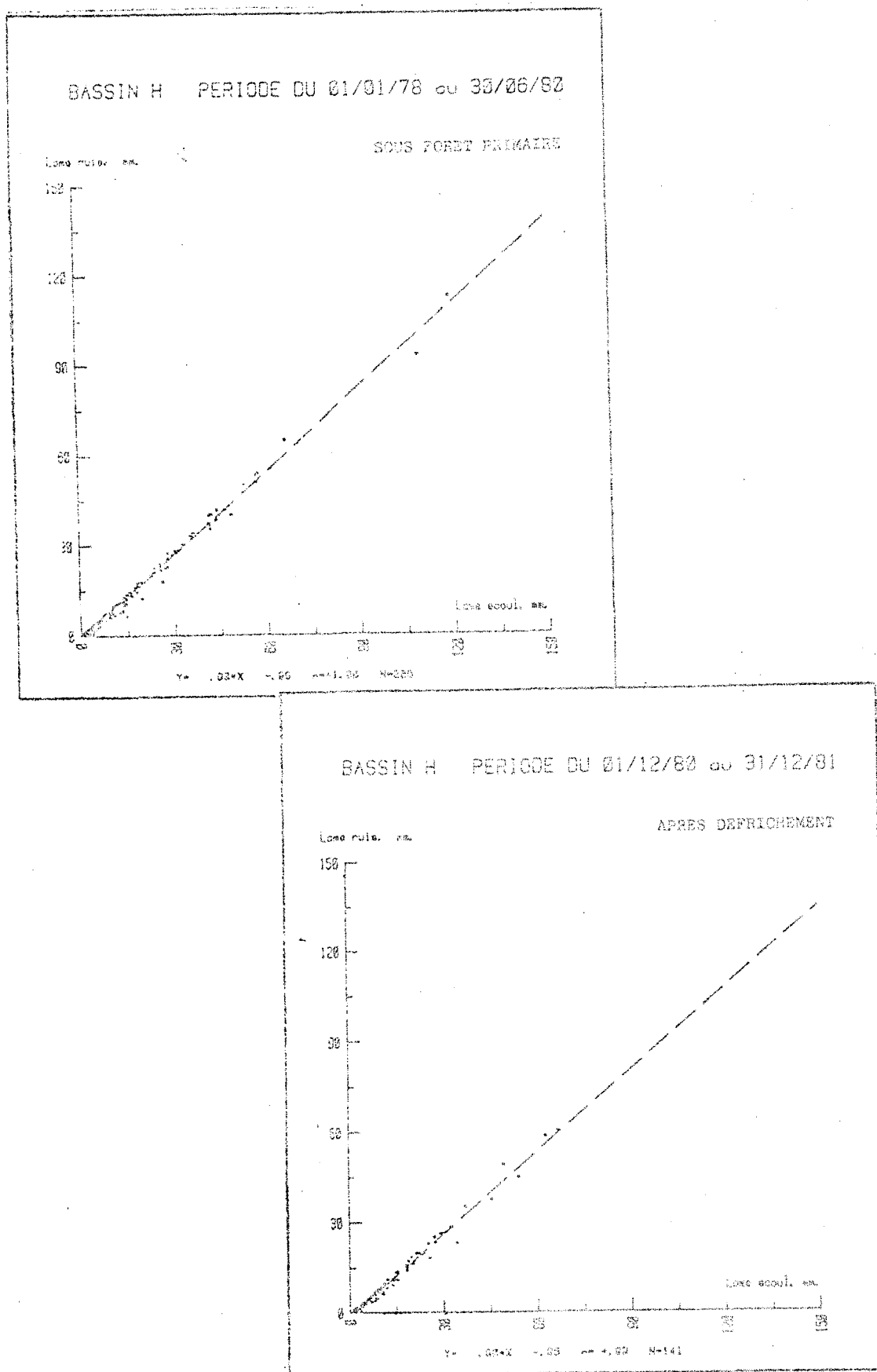


Fig. 7 : Relation Ruissellement-écoulement par crue sous forêt et après défrichement du bassin H.

Comme pour la fonction de production du ruissellement, on constate donc que la "torrentialité", c'est-à-dire le rapport ruissellement/écoulement est peu modifié par le défrichement pour les bassins à drainage vertical bloqué, mais que des changements significatifs s'opèrent dans le comportement hydrologique à la fois en nature et en quantité pour les sols à drainage vertical.

L'examen des valeurs de a et b sur le tableau 2, permet de constater que la mise en place de pâturage sur le bassin A ramène la torrentialité vers des valeurs très proches de celle du domaine forestier, alors que sur le bassin C la part du ruissellement demeure sous pâturage de l'ordre de 87 % contre 75 % en forêt primaire.

4 - L'EVOLUTION HYDROLOGIQUE DES BASSINS TRAITES PAR RAPPORT A CELLE DES BASSINS TEMOINS

La comparaison des relations pluie-débit, année par année, d'un même bassin à différents stades écologiques introduit d'un biais important selon la quantité et le régime des précipitations, le rendement hydrologique peut être profondément modifié d'une année sur l'autre et il est à priori difficile d'extraire la variation due au défrichement et à la mise en culture de celle provoquée par la pluviométrie incidente, à moins de disposer d'un modèle multi-paramètres rendant compte des variations d'humidité du sol, de l'évapotranspiration, de l'intensité des pluies, etc...

Le recours au bassin témoin élimine cette hétérogénéité simplement, puisque celui-ci subit les avatars climatiques de la même façon que le bassin traité et évolue donc parallèlement à celui-ci pour peu que les conditions hydro-pédologiques soient de même nature sur les deux unités.

La méthode la plus adaptée pour ces comparaisons demeure celle des doubles masses. On a représenté ce cumul chronologique de différents paramètres hydrologiques par couple de bassins (bassin témoin, bassin traité) sur les figures 8 et 9 (écoulement total), 10 et 11 (écoulement des crues), 12 et 13 (ruissellement des crues).

Le cumul est fait à partir des événements "crues" individualisées, un point marque la fin de chaque mois et un tiret vertical la fin de chaque année. Toute rupture de pente est interprétée comme l'origine d'une modification hydrologique du bassin traité. La valeur des pentes de chaque bassin par rapport au témoin et par rapport à son propre état originel fait l'objet des Annexes I, II III et IV. Ces valeurs sont reprises et commentées ci-après.

.../...

4.1. L'écoulement total pendant la période considérée

BASSIN	DEFRICHEMENT	PATURAGE
H	1,50	
G	1,66	
C	1,77	1,94
A	1,84	1,73

Tableau 3 : augmentation relative de l'écoulement total des bassins traités par rapport à celui sous forêt primaire dans les mêmes conditions.

Ces chiffres indiquent une augmentation sensible de l'écoulement des eaux de surface après défrichement dans un ordre à peu près inverse des potentialités d'écoulement originel H, G, A, C (M.A ROCHE, 1982).

Le bassin A, le plus réactif à ce paramètre est celui qui ne bénéficie pratiquement d'aucune contribution de la nappe, alors que G et H sont partiellement alimentés par un inféro-flux superficiel et C par des réserves plus profondes. On peut penser que le régime de ces nappes est relativement moins perturbé par le défrichement que ne l'est l'aptitude au ruissellement superficiel, pour expliquer le gain important réalisé par le bassin A.

En ce qui concerne les effets de pâturage, les résultats sont contradictoires entre bassins A et C. Le premier voit son écoulement diminuer avec *Digitaria swazilandensis* par rapport au sol nu (-6 %) alors que l'écoulement de C augmente sous *Bracharia* USDA et jeunes plants de pomélos.

On peut en conclure le micro-relief laissé par les engins de défrichement confère à ce type de sol drainant une perméabilité plus élevée que celle du pâturage, puisque l'écoulement augmente de près de 10 % pour les mêmes conditions climatiques incidentes.

4.2. L'écoulement des crues individualisées

.../...

Le paramètre "écoulement total" qui vient d'être discuté prend en compte l'ensemble des écoulements annuels et en particulier "l'écémage" des nappes de bas-fond, phénomène en partie influencé par le génie civil, les fondations du déversoir étant susceptibles d'intercepter une partie de l'écoulement souterrain et de la faire transiter au profit des eaux de surface.

Par contre, l'eau qui s'écoule pendant les seules crues, et dont on a vu qu'elles étaient composées essentiellement de ruissellement est un paramètre totalement objectif et qui n'est pratiquement pas influencé par le dispositif de mesures.

Le classement des bassins est cette fois conforme à ce que l'on pouvait attendre, l'écoulement augmentant d'autant plus que le bassin coulait moins sous forêt primaire.

BASSIN	DEFRICHEMENT	PATURAGE
H	1,57	
G	1,75	
A	1,83	1,68
C	2,16	2,21

Tableau 4 : augmentation relative de l'écoulement en crue des bassins traités par rapport à celui sous forêt primaire dans les mêmes conditions.

Néanmoins le classement par valeurs absolues des potentialités d'écoulement des bassins défrichés et non plus en gain relatif, demeure pratiquement inchangé par rapport au domaine forestier (tableau 5).

BASSIN	PERIODE DE REFERENCE	FORET (RECONSTITUE)	DEFRICHEMENT
H	12/80-12/81	28,3 %	44,4 %
G	12/80-12/81	27,5 %	45,6 %
A	12/78-04/79	25,4 %	46,4 %
C	12/78-04/79	10,3 %	22,3 %

Tableau 5 : coefficient d'écoulement en crue observés sur les bassins défrichés et reconstitués sous forêt à partir du bassin témoin pour la même période de référence.

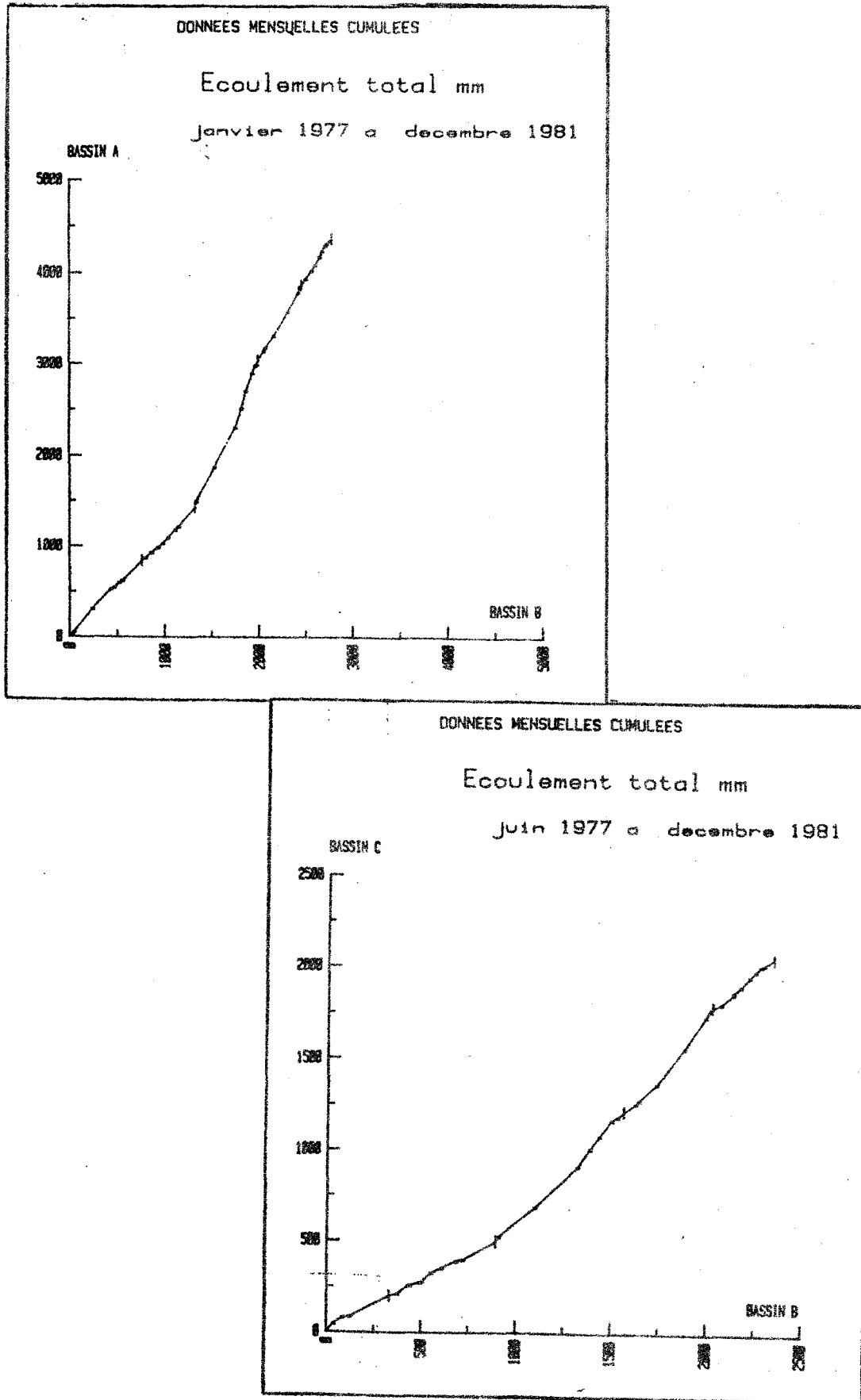


Fig. 8 : Evolution cumulée de l'écoulement superficiel total entre les bassins traités et le bassin témoin : A et B, C et B.

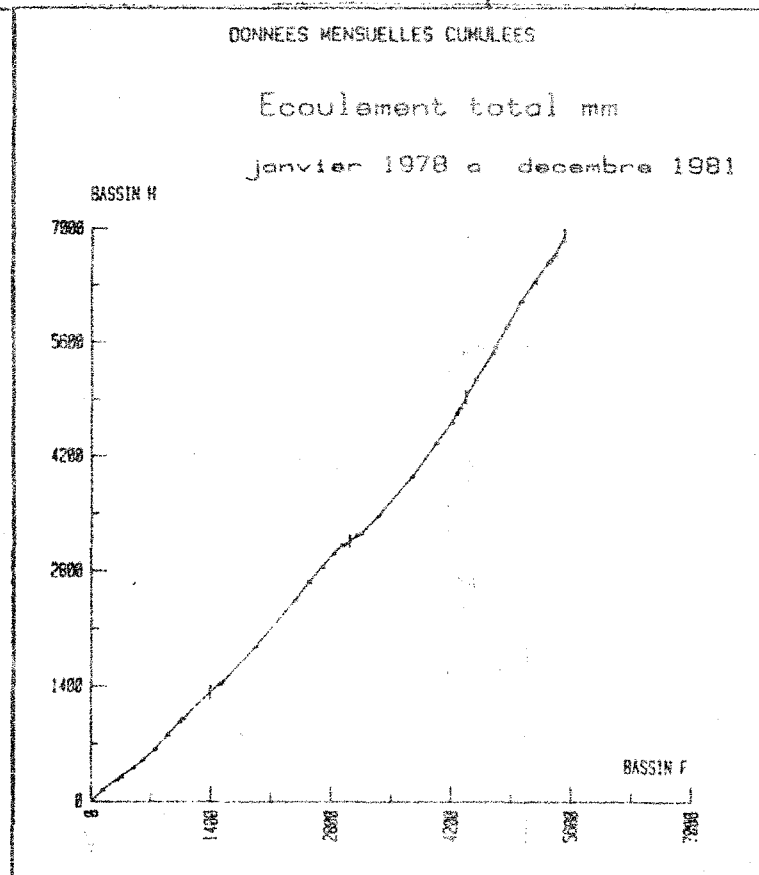
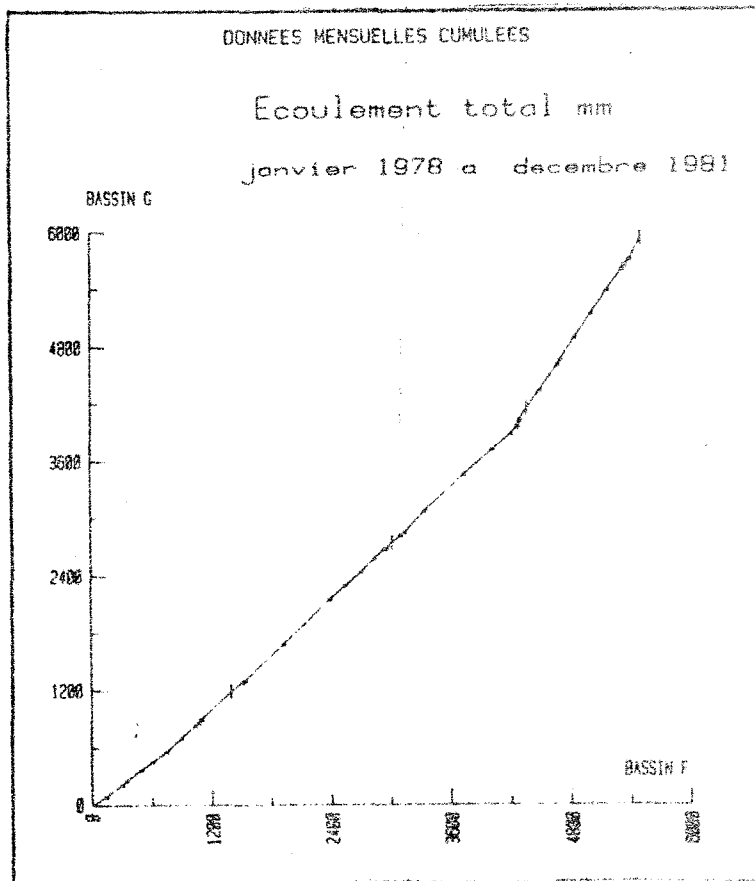


Fig. 9 : Evolution cumulée de l'écoulement superficiel total entre les bassins traités et le bassin témoin : G et F, H et F.

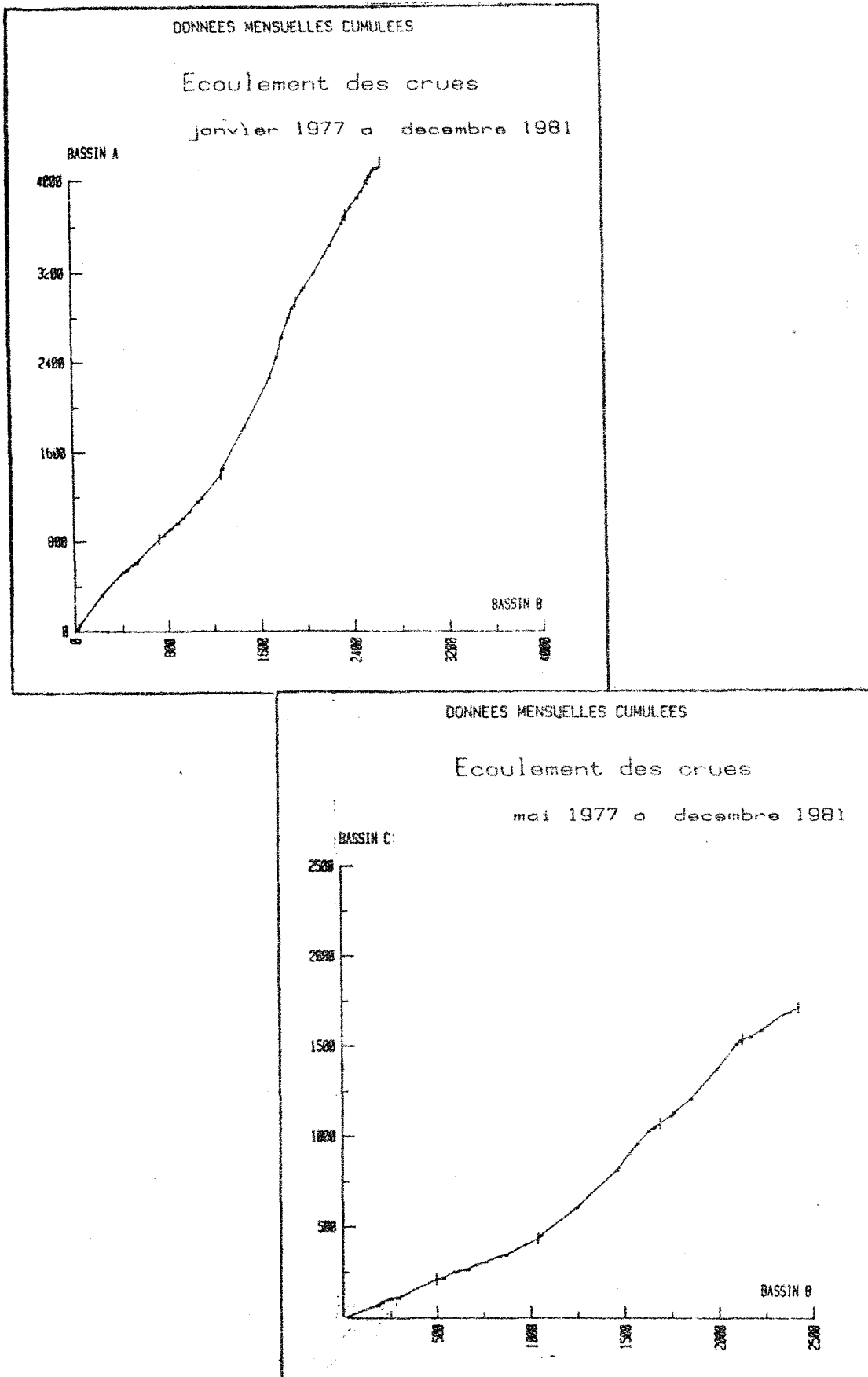


Fig. 10 : Evolution cumulée de l'écoulement des crues entre les bassins traités et le bassin témoin : A et B, C et B.

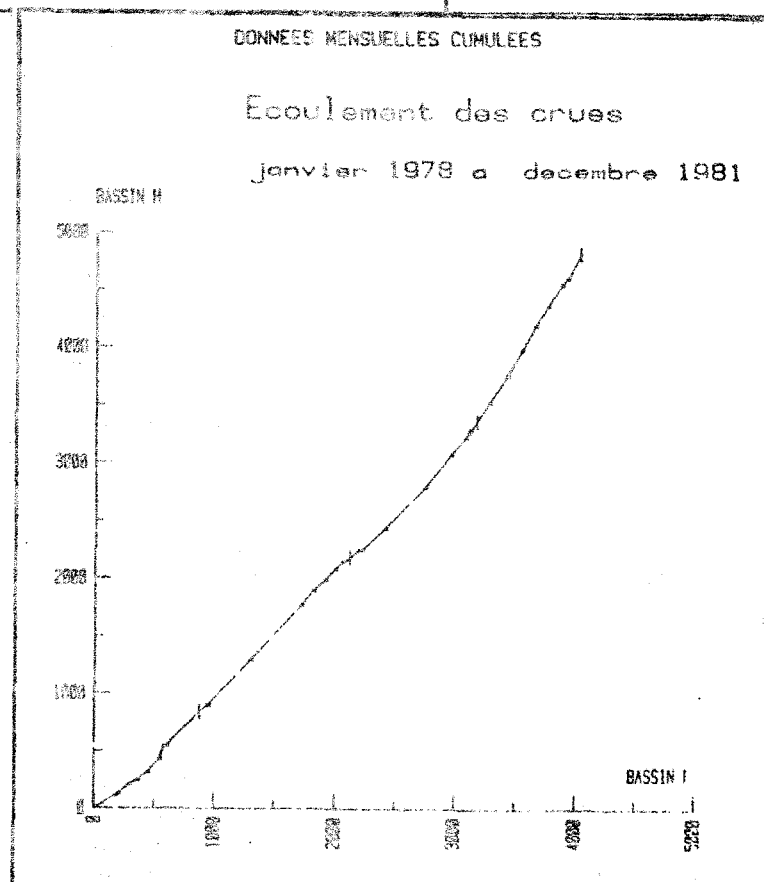
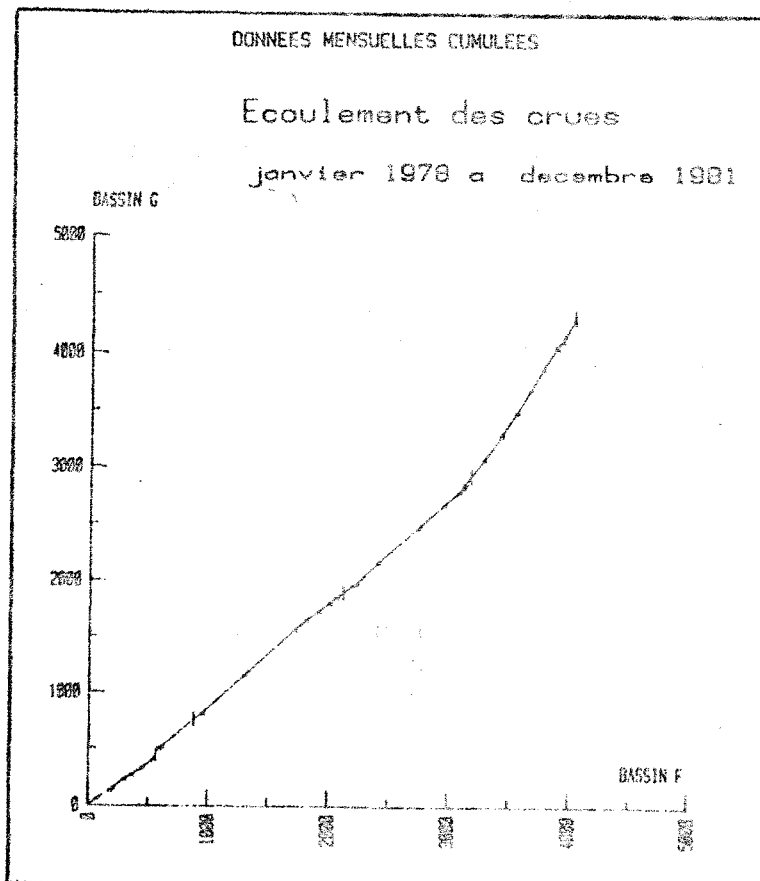


Fig. 11 : Evolution cumulée de l'écoulement des crues entre les bassins traités et le bassin témoin G et F, H et F.

On notera que la dispersion en données absolues est très serrée avec une valeur quasi constante de 45 % du coefficient d'écoulement des crues pour les sols à drainage bloqué.

L'examen des écoulements de crue après mise en place des aménagements sur les bassins A et C (tableau 4) montre une évolution semblable au paramètre écoulement total déjà décrit, c'est-à-dire légère diminution (1,83 à 1,68) après l'implantation du pâturage sur A, et croissance continue sur C (2,16 à 2,21).

4.3. Le ruissellement

Les changements dans le ruissellement sont sensiblement identiques à ceux décrits dans le paragraphe précédent et qui englobaient la totalité du volume de l'hydrogramme du moins pour les 3 bassins H, G et H. Seul le ruissellement du bassin C après défrichement continue d'augmenter très sensiblement : 2,53 contre 2,16.

BASSIN	DEFRICHEMENT	PATURAGE
H	1,51	
G	1,73	
A	1,89	1,64
C	2,53	2,36

Tableau 6 : augmentation relative du ruissellement des bassins traités par rapport à celui sous forêt primaire dans les mêmes conditions.

On remarque aussi que cette fois ce paramètre diminue avec la mise en place du pâturage par rapport au sol nu : si le volume global des crues augmente comme on l'a mis en évidence précédemment, une part importante de l'eau s'écoule de façon légèrement différée donnant un hydrogramme plus "mou" dans lequel le ruissellement pur est en récession entre le bassin défriché et la combinaison pâturage-verger.

Il faut cependant garder à l'esprit que ce facteur multiplicatif considérable (X 2.5) permet néanmoins à l'écoulement superficiel de se maintenir sur ces sols dans des valeurs absolues de loin les plus basses de tout le dispositif puisque le coefficient de ruissellement du bassin C n'aura été que de 18 % pour la période décembre 78-mai 79, contre 41 % par exemple au bassin A défriché et placé dans les mêmes conditions.

.../...

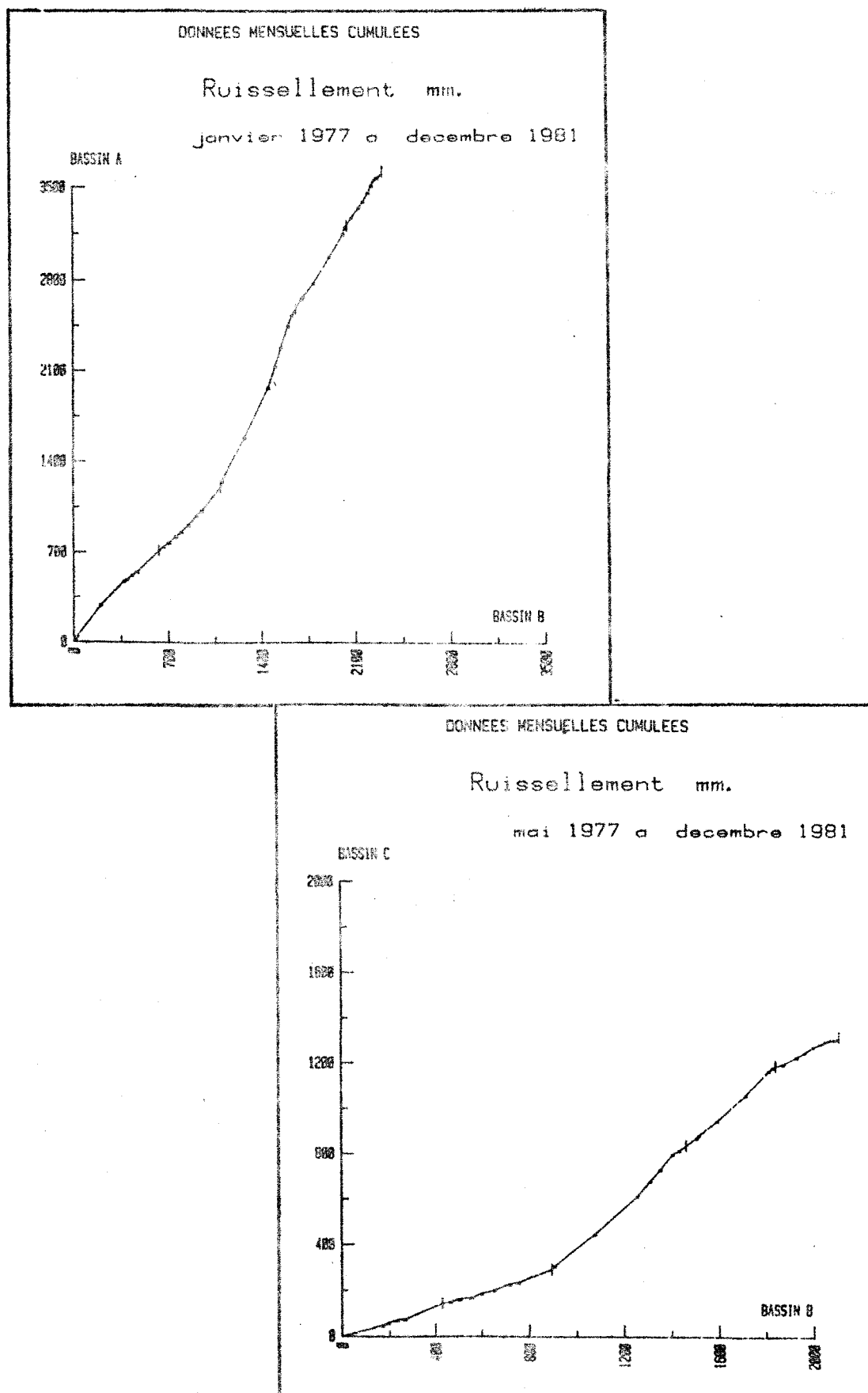


Fig. 12 : Evolution cumulée du ruissellement entre les bassins traités et le bassin témoin : A et B, C et B.

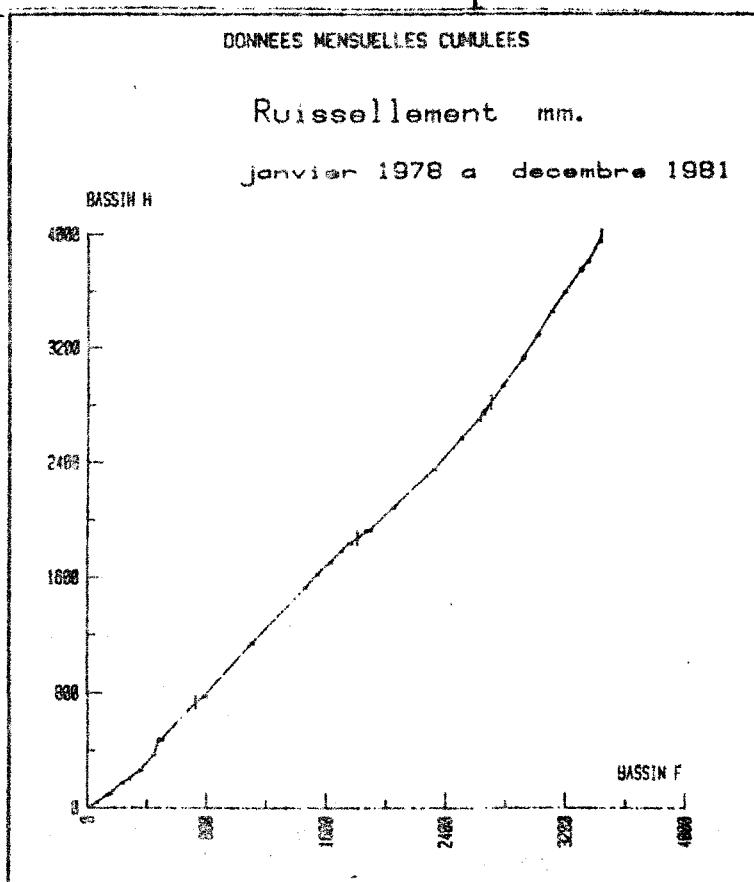
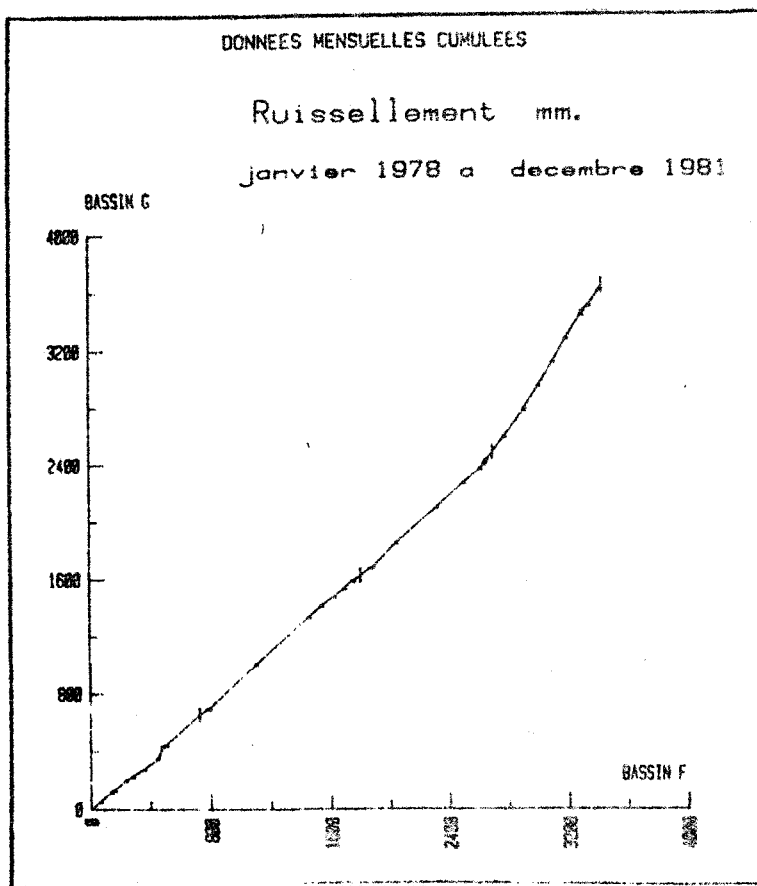


Fig. 13 : Evolution cumulée du ruissellement entre les bassins traités et le bassin témoin : G et F; H et F.

C'est qu'en fait, on n'aurait mesuré 7 % de ruissellement seulement pendant la même période sous forêt primaire sur ce bassin C.

La figuration graphique de cette discussion, concernant les bassins A et C fait l'objet de la figure 14.

4.4. Le nombre de crues

Il y a une contradiction apparente importante entre les conclusions de l'étude des relations pluie-écoulement par bassin à différents stades de l'expérimentation tels qu'elles ont été présentées au paragraphe 2 et qui, sauf pour le bassin C, concluaient à des changements non significatifs dans les fonctions de production de l'écoulement à partir de la pluie de l'averse et celles que l'on peut tirer des paragraphes précédents, obtenues à partir des bassins témoins et où l'on a vu augmenter les écoulements dans des rapports de 1,5 à 2, voire plus encore.

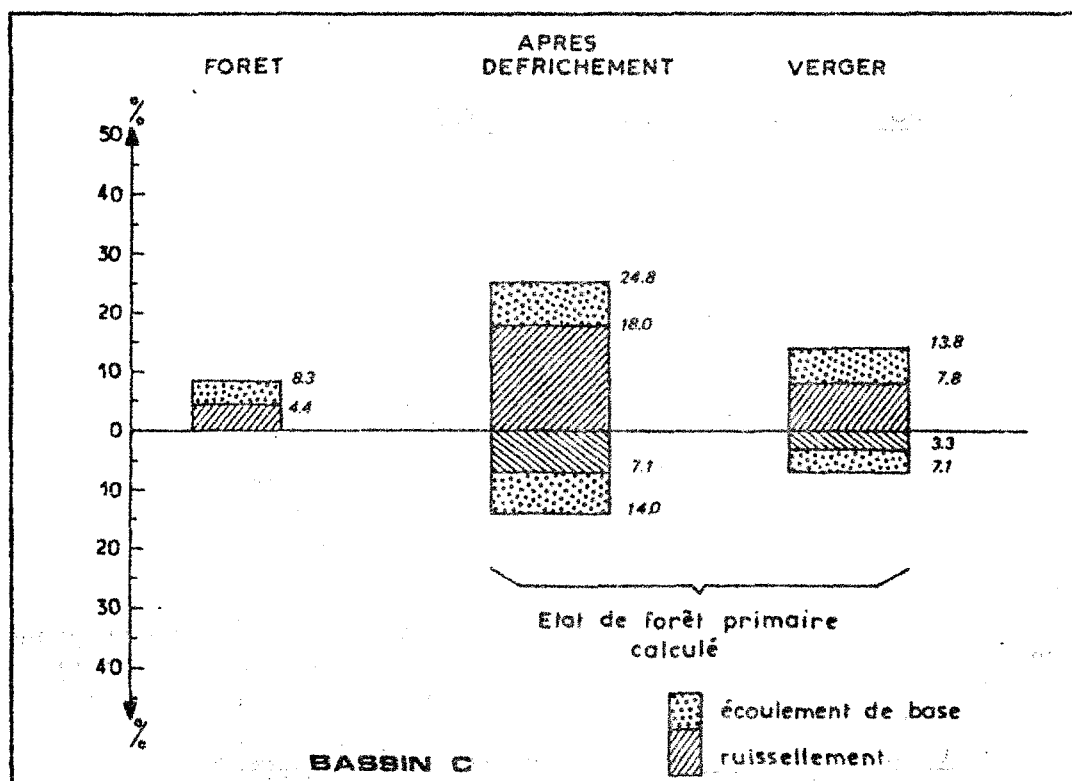
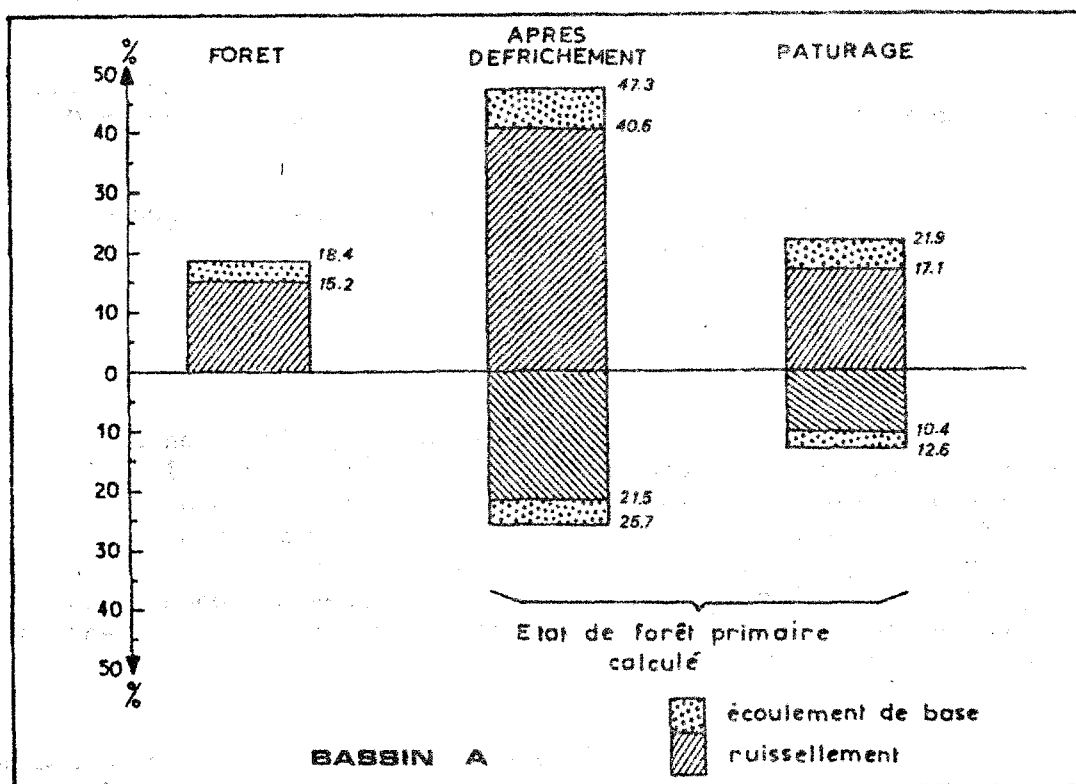
Une explication peut être cherchée dans la considération du nombre de crues observées dans chacun des stades des bassins traités et en comparant leur occurrence avec celles du bassin témoin.

BASSIN	DEFRICHEMENT	PATURAGE
H	1,36	
G	1,40	
A	2,44	2,21
C	1,82	2,10

Tableau 7 : augmentation relative du nombre des crues sur les bassins traités par rapport à celui sous forêt dans les mêmes conditions.

On constatera que ces chiffres sont dans un ordre de grandeur voisin de ceux obtenus par la méthode des doubles masses pour les différentes phases de l'écoulement. En première approximation, l'augmentation des coefficients d'écoulement n'est pas due à des volumes de crue plus importants pour une hauteur de pluie donnée mais surtout par l'occurrence de crues nouvelles qui ne se produisent pas sous couvert forestier.

.../...



EVOLUTION DES ECOULEMENTS EN % DE LA PLUIE SUR LES BASSINS ECEREX

Fig. 14

Cette affirmation s'applique essentiellement aux sols à drainage bloqué et dans une moindre mesure aux sols perméables sur lesquels les modifications proviennent à la fois de crues nouvelles et de l'accroissement de l'écoulement par averses que l'on avait estimé dans un rapport de 1,4 pour une averse de 25 mm (cf. 3).

Ces crues nouvelles proviennent à la fois des pluies qui seraient totalement ou partiellement interceptées par la canopée forestière et qui atteignent le sol après défrichement et de probables modifications dans le régime hydrique des sols après le traitement mécanisé qu'ils ont subi. S'il ne nous est pas encore possible de faire la part de ces deux phénomènes on peut prendre en considération des mesures d'interception réalisées en forêt guyanaise dans les mêmes conditions sylvicoles que celles des bassins expérimentaux (M.A. ROCHE, 1982).

La compilation de ces relevés nous apprend que la pluie tombée dans 32 pluviomètres répartis sous la voûte forestière a été de 2582 mm entre mars 1974 et février 1975 contre 3050 mm recueillis dans un pluviographe situé en clairière à proximité immédiate.

Si l'on adopte en première approximation une proportionnalité linéaire entre la pluie incidente et l'interception, on peut essayer de rapprocher les gains d'écoulement constatés sur les bassins convertis en lacs d'eau équivalente, avec les quantités d'eau disponibles par suppression de l'interception (tableau 8).

BASSIN	PLUVIOMETRIE (mm)	INTERCEPTION (1) (mm)	ACCROISSEMENT EN CRUE (mm) (2)	(2)-(1) (mm)
G	3173	487	620	133
H	3408	523	550	27
A	2309	354	485	131
C	2475	380	295	-85

Tableau 8 : bilan de l'excédent de l'écoulement en crue après défrichement avec l'eau disponible par suppression de l'interception de la pluie par la voûte forestière.

.../...

Pour ce bilan, on a utilisé l'écoulement total des crues, de façon à limiter au maximum l'influence de la variation de l'évapotranspiration entre l'écosystème forestier (ETR) et le sol nu. La durée des crues représente en effet un temps très court, par exemple 757 heures en 1981 sur G, soit 8,7 % du temps. Cette variation de l'ETR, que nous ne connaissons pas n'intervient à cette échelle que de façon indirecte, en modifiant l'état d'humectation du sol nu par rapport à un témoin forestier. En fin de compte c'est le phénomène hydrologique de formation du ruissellement qui est principalement pris en compte dans la dernière colonne du tableau 8.

Sur les sols à drainage bloqué, l'accroissement de l'écoulement dépasse l'excédent d'eau qui arrive au sol après déforestation (+ 133 mm sur G pour l'année 1981, + 131 mm sur A pour les 5 mois de saison pluvieuse en 1979). Seul le bassin H semble faire exception (+ 27 mm), mais ce comportement est lié aux techniques du défrichement (andin en forme de banquette autour du talweg).

D'un point de vue écologique, le fonctionnement hydrologique de ces sols se dégrade avec la déforestation, puisque l'aptitude au ruissellement augmente et que pas même une faible partie de l'eau fournie en excédent ne s'infiltre pour constituer des réserves : toute la lame excédentaire et même davantage s'écoule dans les minutes qui suivent l'averse.

Pour les sols à drainage, libre, (bassin C) le bilan (2)-(1) est négatif (-85 mm), ce qui signifie que ce type de sol réussit à sauvegarder une partie de l'excédent fourni par le déforestation (22 %). L'effet hydrologique de la coupe est donc tamponné sur ce milieu alors qu'il était exacerbé sur drainage bloqué.

4.5. Les débits de pointe

L'observation sur le terrain et l'exploitation des enregistrements graphiques de hauteurs donne l'impression que les débits maximums des crues sont plus élevés après l'aménagement que sous forêt : Qu'en est-il exactement ?

Pour cela on a sélectionné les crues moyennes à fortes sur les bassins traités et sur les bassins témoins. Le seuil de sélection a été de 30 l/s/ha pour les bassins traités et on a procédé au cumul double-masses pour ce paramètre.

L'expression graphique de cette démarche fait l'objet des figures 15, 16, 17 et 18 pour les bassins A, C, G et H respectivement dans les deux stades de forêt primaire et de sol nu.

.../...

Les pentes moyennes des courbes de doubles-masses s'établissent comme suit :

BASSIN	DEFRICHEMENT	PATURAGE
H	1,04	
G	1,45	
A	1,66	1,70
C	2,55	1,60

Tableau 9 : augmentation relative des débits maximums instantanés sur les bassins traités par rapport à ceux sous forêt dans les mêmes conditions.

Les effets relatifs sont manifestement très important sur le bassin C comme on l'avait déjà constaté pour d'autres paramètres hydrologiques. Pour les bassins à drainage bloqué le facteur moyen de 1,5 peut être adopté pour l'augmentation du débit de pointe, la valeur 1,04 observée sur le bassin H étant une anomalie liée aux conditions du défrichement. Celui-ci, opéré en saison des pluies n'a pas permis au tracteur à chenilles de s'aventurer dans le bas-fond à proximité du talweg. Il a subsisté de ce fait pendant toute l'année 1981 un andin elliptique bordant le collecteur, composé de terre, de souches et de trumeaux qui s'est comporté en dispositif de conservation des sols "à la Monsieur JOURDAIN" (J.M. FRITSCH, 1983), d'où la stagnation particulière des débits maximums sur ce bassin.

Les effets réducteurs du pâturage sur les débits de pointe sont importants sur le bassin C, le rapport de ceux-ci au stade de forêt primaire passant de 2,55 à 1,60. Par contre aucun changement significatif sur le bassin A. Sur ce dernier bassin, on peut penser que la présence permanente des bovins crée des cheminements préférentiels pour l'eau de ruissellement, libres de tout obstacle entre les crêtes et le déversoir permettant des temps de concentration du même ordre que sur sol nu et de ce fait le quasi maintien des débits maximums dans les deux situations.

Notons bien que cette action des animaux n'interviendrait que sur la forme de l'hydrogramme, puisque la quantité d'eau ruisselée diminue avec la plantation du pâturage (de 1,89 à 1,64 (cf. 4.3.)).

.../...

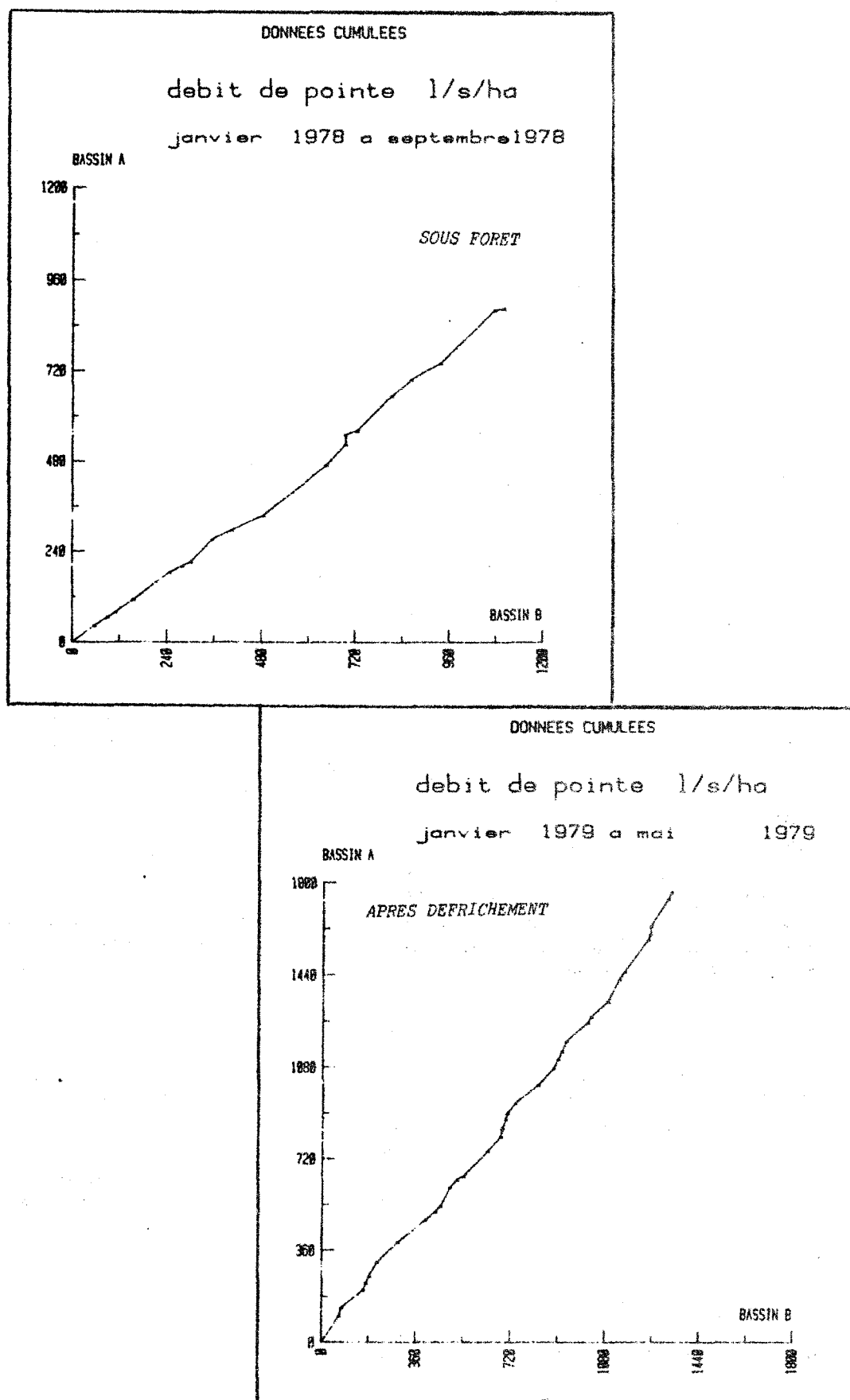


Fig. 15 : Evolution cumulée des débits de pointe $> 30 \text{ l. s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ sur le bassin A et le témoin B, sous forêt primaire et après défrichement.

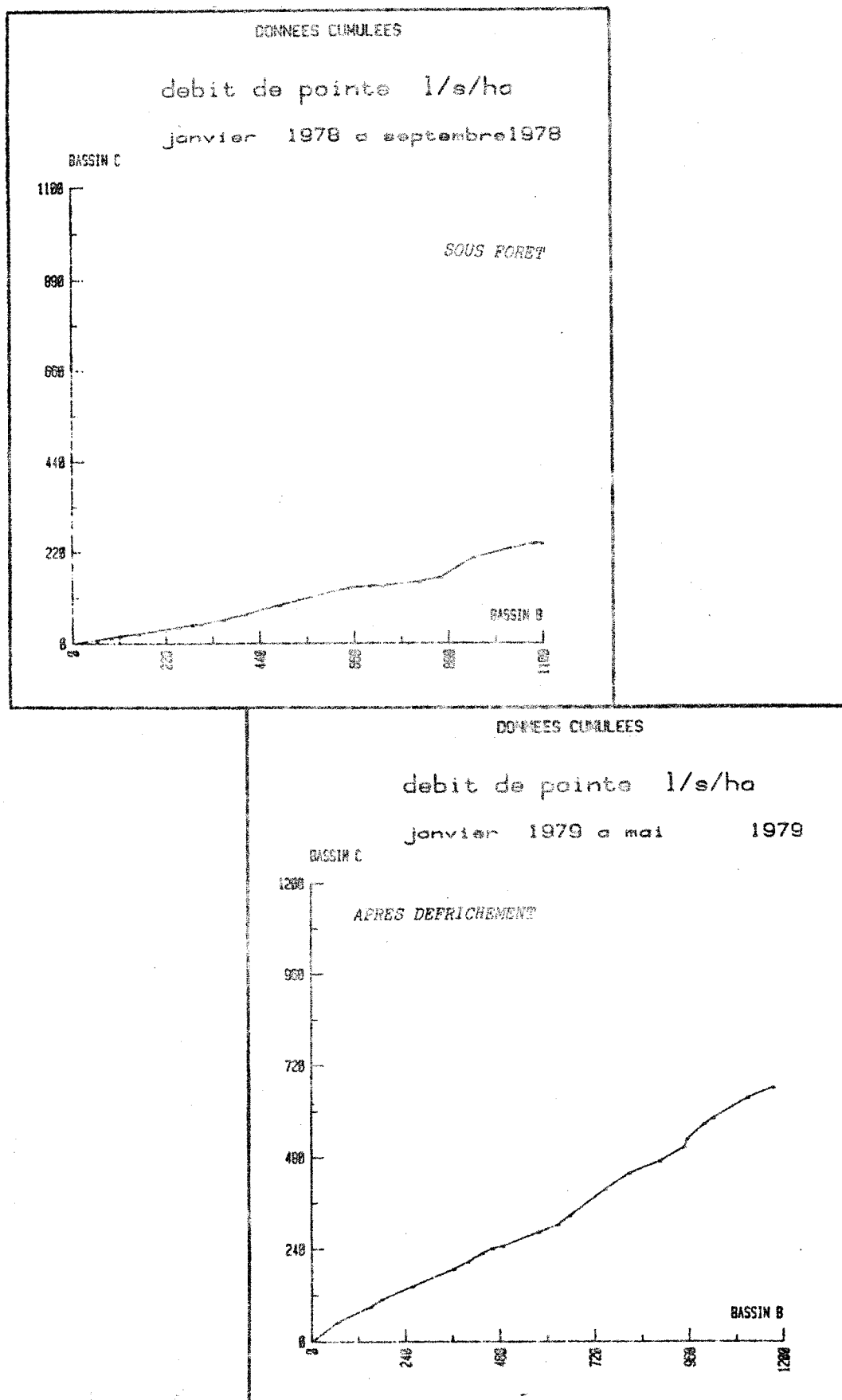


Fig. 16 : Evolution cumulée des débits de pointe > à $30 \text{ l. s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ sur le bassin C et le témoin B, sous forêt primaire et après défrichement.

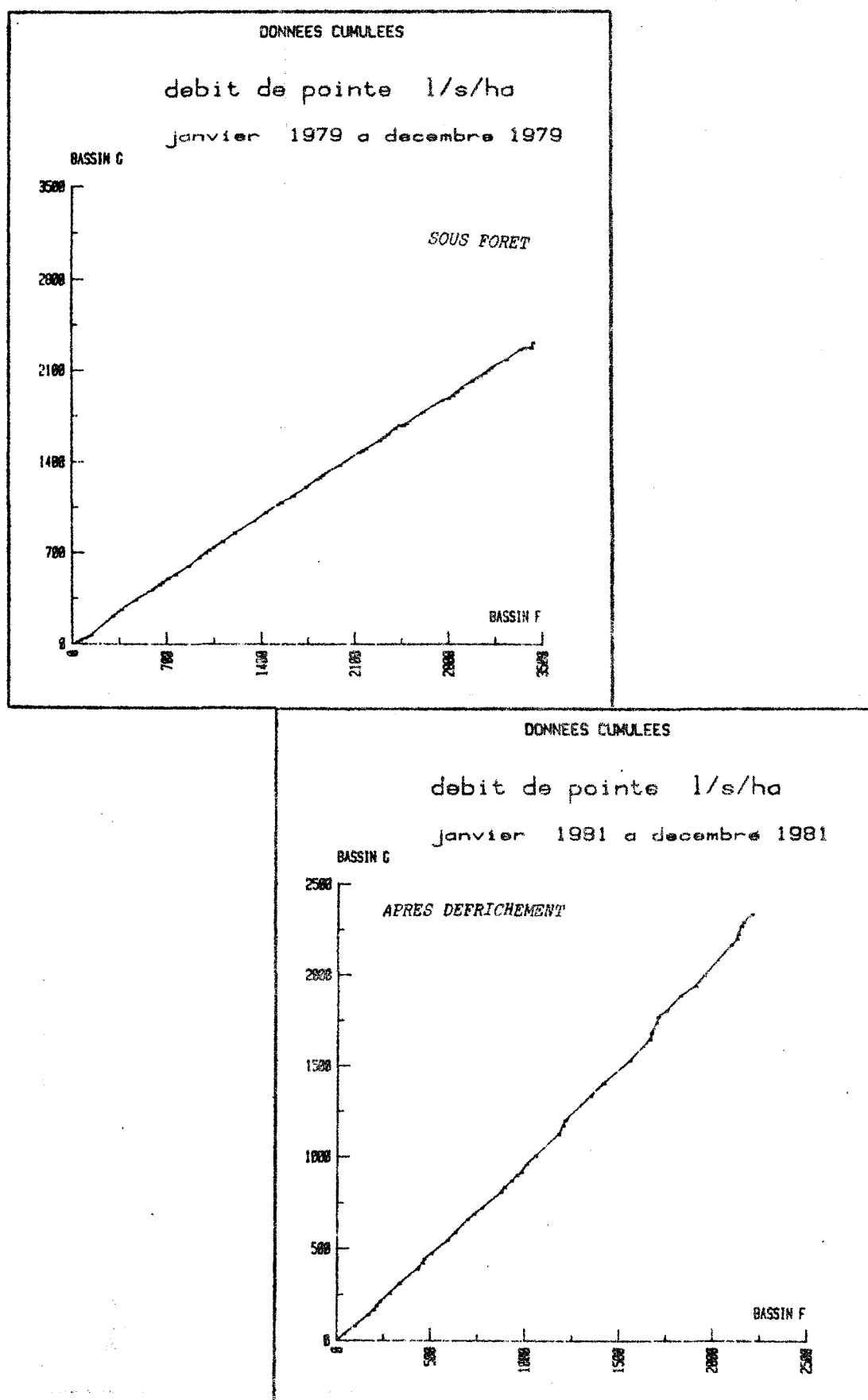


Fig. 17 : Evolution cumulée des débits de pointe $> 30 \text{ l. s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ sur le bassin G et le Témoin F, sous forêt primaire et après défrichement.

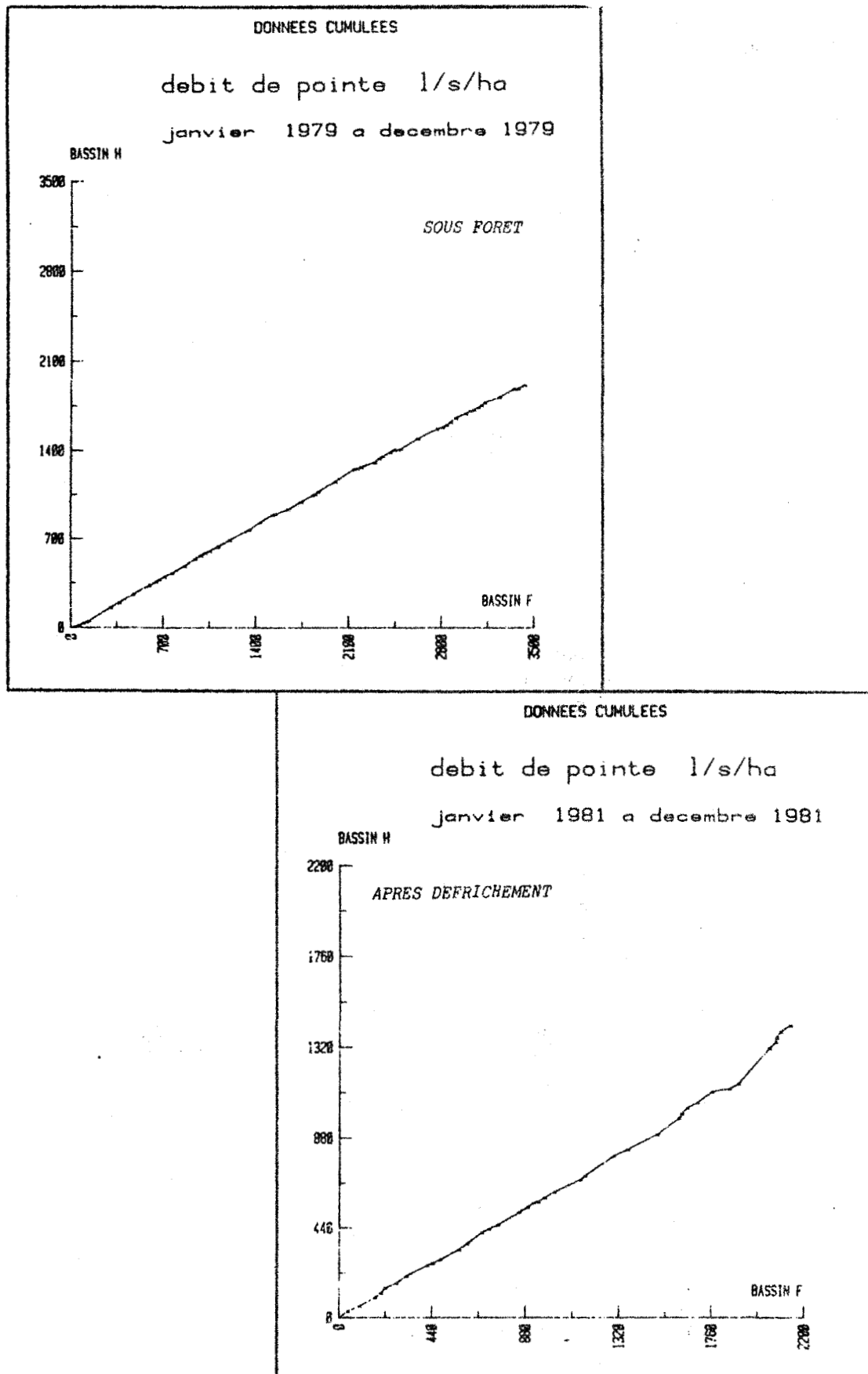


Fig. 18 : Evolution cumulée des débits de pointe $> 30 \text{ l. s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ sur le bassin H et le témoin F, sous forêt primaire et après défrichement.

5 - CONCLUSIONS

L'expérimentation agro-forestière conduite sur les 4 bassins dont on vient de présenter les résultats concernait deux types de milieu très différents, en fonction de la dynamique hydrique des sols : un bassin à drainage vertical libre, ruisselant très peu sous forêt (4,4 %) et des bassins à drainage bloqué, sur lesquels les horizons de surface s'engorgent rapidement et sur lesquels le ruissellement représentait de 15 à 35 % de la pluviométrie annuelle sous forêt primaire, cette dispersion étant principalement liée à l'extension plus ou moins grande des zones hydromorphes de bas-fonds.

Après l'aménagement, les comportements hydrologiques de ces deux groupes continuent d'être très différents mais ces dérives ne sont pas parallèles et des changements de nature importante interviennent dans les écoulements des bassins perméables.

5.1. Les nouveaux régimes hydriques des sols à drainage bloqué :

- . La pente de la relation $Q = f(P)$, c'est-à-dire la quantité d'eau disponible pour l'écoulement superficiel à l'échelle de chaque averse n'augmente pas de façon significative avec le défrichement, surtout si l'on considère les averses abondantes (à 25 mm) pour lesquelles la part de l'interception est faible quel que soit l'humectation préalable de la canopée.
- . Une augmentation très nette du nombre des crues, dans un rapport de 1,5 à 2,5 permet cependant aux écoulements d'augmenter très sensiblement : de 1,7 à 1,8 pour l'écoulement annuel, de 1,5 à 1,9 pour le ruissellement des crues.
- . Ces bassins, une fois défrichés, écoulent davantage d'eau que la suppression de l'interception forestière n'en fournit. Au plan agronomique, on peut constater que les caractéristiques hydrodynamiques de ces sols, médiocres à l'origine, se détériorent significativement avec le défrichement.
- . L'effet du pâturage brouté, observé sur un seul bassin de ce groupe conduit à une réduction très légère de certains facteurs de croissance établis sur sol nu : le ruissellement, par exemple devient 1,64 fois celui de la forêt primaire, contre 1,89 après défrichement. Par contre, aucun effet réducteur n'est perceptible sur les débits de pointe et l'écoulement annuel est même légèrement plus élevé (1,94) que sur sol nu (1,77).

.../...

5.2. Les nouveaux régimes hydriques des sols à drainage libre :

- . Sur ce type de sol, le rendement hydrologique superficiel de chaque averse augmente très sensiblement avec le défrichement. La relation pluie de l'averse-ruissellement de la crue permet d'affirmer que l'espérance moyenne du ruissellement passe de 11 % sous forêt à 27 % sur sol défriché pour une averse de 25 mm.
- . Comme dans le cas des sols à drainage bloqué, le nombre des crues augmente très sensiblement dans un rapport 1,8, mais les autres paramètres hydrologiques accusent les hausses les plus importantes de tout le dispositif : 2,2 pour l'ensemble de l'écoulement en crue, 2,5 pour le ruissellement.
- . Néanmoins, les valeurs absolues de l'écoulement superficiel demeurent très modestes puisque le coefficient annuel d'écoulement des crues après défrichement, sur ce type de sol atteint à peine 22 %.
- . De surcroît, sur ces bassins, les quantités d'eau supplémentaires qui transitent sur le déversoir sont inférieures à l'excédent dégagé apr la suppression de l'interception forestière. C'est ainsi que durant la saison pluvieuse 1979, 80 % des 380 mm de pluie provenant de l'absence d'interception se sont écoulés, le reste a pu s'infiltrer ou constituer des réserves utilisables. Ce type de sol confirme et améliore même ses caractéristiques agronomiques favorables.
- . Les débits de pointe après défrichement augmentent beaucoup plus que sur sols imperméables dans un rapport 2,5, mais restent toutefois très inférieurs en valeurs spécifiques à ceux des autres bassins. Par exemple, le débit maximum instantané pendant la période d'observation sous forêt, égal à 75 l/s/ha aurait été de 188 l/s/ha sur sol nu alors que la crue maximale sur le bassin G est passée avec 250 l/s/ha, qui seraient devenus 420 l/s/ha si ce bassin avait été défriché à ce moment.
- . Les effets de l'aménagement testé (plants de pomelos et Bracharia USDA réduisent très faiblement le ruissellement annuel du sol nu, dans une proportion qui passe de 2,5 à 2,4. Les débits de pointe régressent dans les mêmes conditions de 2,5 à 1,6 fois de leur valeur sous forêt.

BASSIN A

		DONNEES RELATIVES				DONNEES ABSOLUES		
		FORET	DEFRICHE	PATURAGE		FORET	DEFRICHE	PATURAGE
		05/77-09/78	12/78-04/79	12/79-12/81		05/77-09/78	12/78-04/79	12/79-12/81
PLUIE TOTALE					mm	4898	2309	6367
ECOULEMENT	A/B	0,99	1,82	1,71	mm	903	1092	1392
TOTAL	A/A	1	1,84	1,73	%	18,4	47,3	21,9
					% sous forêt		(25,7)	(12,6)
ECOULEMENT	A/B	0,99	1,81	1,66	mm	860	1072	1270
DES CRUES	A/A	1	1,83	1,68	%	17,6	46,4	20,0
					% sous forêt		(25,4)	(11,9)
RUISSELLEMENT	A/B	0,99	1,87	1,63	mm	744	938	1089
	A/A	1	1,89	1,64	%	15,2	40,6	17,1
					% sous forêt		(21,5)	(10,4)
DUREE DU	A/B	0,78	1,37	1,29				
RUISSELLEMENT	A/A	1	1,76	1,65				
NOMBRE DE	A/B	0,62	1,51	1,37	A	113	119	262
CRUES	A/A	1	2,44	2,21	B	183	79	193
DEBIT DE	A/B	0,71	1,18	1,21				
POINTE	A/A	1	1,66	1,70				

BASSIN C

		DONNEES RELATIVES				DONNEES ABSOLUES		
		FORET	DEFRICHE	VERGER		FORET	DEFRICHE	VERGER
		06/77-09/78	12/78-05/79	12/79-12/81		06/77-09/78	12/78-05/79	12/79-12/81
PLUIE TOTALE					mm	4257	2475	6436
ECOULEMENT	C/B	0,52	0,92	1,01	mm	353	614	887
TOTAL	C/C	1	1,77	1,94	%	8,3	24,8	13,8
					% sous forêt		(14,0)	(7,1)
ECOULEMENT	C/B	0,39	0,84	0,86	mm	268	551	661
DES CRUES	C/C	1	2,16	2,21	%	6,3	22,3	10,3
					% sous forêt		(10,3)	(4,7)
RUISSELLEMENT	C/B	0,32	0,80	0,75	mm	186	445	502
	C/C	1	2,53	2,36	%	4,4	18,0	7,8
					% sous forêt		(7,1)	(3,3)
DUREE DU	C/B	0,87	1,37	1,41				
RUISSELLEMENT	C/C	1	1,58	1,75				
NOMBRE DE	C/B	0,82	1,49	1,72	C	130	164	328
CRUES	C/C	1	1,82	2,10	B	159	110	191
DEBIT DE	C/B	0,20	0,51	0,32				
POINTE	C/C	1	2,55	1,6				

Annexe 1 : Données hydrologiques absolues et relatives au bassin témoin sur les bassins expérimentaux A et C.

BASSIN G

		DONNEES RELATIVES			DONNEES ABSOLUES	
		FORET 09/78-07/80	DEFRICHE 12/80-12/81		FORET 09/78-07/80	DEFRICHE 12/80-12/81
PLUIE TOTALE				mm	7077	3173
ECOULEMENT TOTAL	G/F G/G	0,92 1	1,53 1,66	mm %	3042 43,0	1761 55,5
				% sous forêt		(33,4)
ECOULEMENT DES CRUES	G/F G/G	0,91 1	1,59 1,75	mm %	2289 32,3	1446 45,6
				% sous forêt		(27,5)
RUISSELLEMENT	G/F G/G	0,90 1	1,56 1,73	mm %	2370 33,5	1205,4 38,0
				% sous forêt		(22,0)
DUREE DU RUISSELLEMENT						
NOMBRE DE CRUES	G/F G/G	0,84 1	1,17 1,40	G F	300 359	197 168
DEBIT DE POINTE	G/F G/G	0,67 1	0,97 1,45			

BASSIN H

		DONNEES RELATIVES			DONNEES ABSOLUES	
		FORET 09/78-07/80	DEFRICHE 12/80-12/81		FORET 09/78-07/80	DEFRICHE 12/80-12/81
PLUIE TOTALE				mm	7157	3408
ECOULEMENT TOTAL	H/F H/H	1,15 1	1,73 1,50	mm %	3633 50,8	2108 61,9
				% sous forêt		(41,1)
ECOULEMENT DES CRUES	H/F H/H	1,07 1	1,68 1,57	mm %	2679 37,4	1513 44,4
				% sous forêt		(28,3)
RUISSELLEMENT	H/F H/H	1,04 1	1,57 1,51	mm %	2223 31,1	1215 35,7
				% sous forêt		(23,6)
DUREE DU RUISSELLEMENT						
NOMBRE DE CRUE	H/F H/H	0,83 1	1,13 1,36	H F	297 359	189 168
DEBIT DE POINTE	H/F H/H	0,57 1	0,59 1,04			

Annexe 2 : Données hydrologiques absolues et relatives au bassin témoin sur les bassins expérimentaux G et H.

LISTE DES FIGURES

- Fig. 1a et 2a : Relation pluie de l'averse-ruissellement de la crue sous forêt primaire et après défrichement sur les bassins A et C.
- Fig. 1b et 2b : Relation pluie de l'averse-ruissellement de la crue sous forêt primaire et après plantation d'un pâturage (BV A) et d'un verger sur pâturage (BV C).
- Fig. 3 et 4 : Relation pluie de l'averse-ruissellement de la crue sous forêt primaire et après défrichement des bassins versants G (Fig. 3) et H (Fig. 4).
- Fig. 4a et 5a : Relation ruissellement-écoulement de la crue sous forêt primaire et après défrichement sur les bassins A et C.
- Fig. 4b et 5b : Relation ruissellement-écoulement de la crue sous forêt primaire et après plantation du pâturage (BV A) et du verger sur pâturage (BV C).
- Fig. 6 et 7 : Relation ruissellement-écoulement de la crue sous forêt primaire et après défrichement des bassins versants G (Fig 6) et H (Fig. 7).
- Fig. 8 à 13 : Evolution cumulée des écoulements du bassin traité avec le bassin témoin.
- Fig. 8 : Ecoulement total A/B et C/B
- Fig. 9 : Ecoulement total G/F et H/F
- Fig. 10 : Ecoulement des crues A/B et C/B
- Fig. 11 : Ecoulement des crues G/F et H/F

- Fig. 12 : Ruissellement A/B et C/B
- Fig. 13 : Ruissellement G/F et H/F
- Fig. 14 : Evolution des écoulements des bassins A et C aux différentes phases de l'expérimentation.
- Fig. 15 à 18 : Evolution cumulée des débits de pointe $>$ à $30 \text{ l. s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$ sur les bassins défrichés et le bassin témoin.
- Fig. 15 : Bassin A et B
- Fig. 16 : Bassin C et E
- Fig. 17 : Bassin G et F
- Fig. 18 : Bassin H et F

BIBLIOGRAPHIE CITEE

- ROCHE M.A., 1979 - Objectifs et méthodologie d'étude sur l'hydrologie et l'érosion des BU. ECEREX. Bulletin de liaison DGRST n° 1 - ORSTOM - CAYENNE
- BOULET R., 1979 - Méthode d'analyse et de représentation des couvertures pédologiques des BU. ECEREX. Bulletin de liaison DGRST n° 1 - ORSTOM - CAYENNE
- ROCHE M.A., 1982 - Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier à ECEREX en Guyane.
Cahiers ORSTOM - Série Hydrologie. Vol XIX n° 2 - 1982
ROCHE M.A., 1982.
- FRITSCH J.M., 1983 - Evolution des écoulements des transports solides à l'exutoire et de l'érosion sur les versants d'un petit bassin après défrichement mécanisé de la forêt tropicale humide - Hydrology of thumid Tropical Regions - AISH - HAMBOURG - Août 1983.

LE PROJET ECEREX (Guyane)

ANALYSE DE L'ECOSYSTEME FORESTIER
TROPICAL HUMIDE ET DES MODIFICATIONS
APPORTEES PAR L'HOMME

—o—

GER.D.A.T. (C.T.F.I.)

I.N.R.A.

MUSEUM

O.R.S.T.O.M.

JOURNÉES DE CAYENNE
4-8 MARS 1983