

**LES BASSINS VERSANTS EXPERIMENTAUX
DE GUYANE FRANCAISE
(ECEREX)**

Rapport préparé par

Jean-Marie FRITSCH
ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier cedex

**pour le Conseil Scientifique et Technique
des Bassins Versants de Recherche sur l'Environnement (CST BVRE)**

à l'occasion du séminaire national
**« du concept de BVRE à celui de zone atelier
dans les recherches menées en eaux continentales »**

Paris, 10 et 11 mai 1994

SOMMAIRE

1 PREMIERE PHASE : ECEREX PROGRAMME D'EXPERIMENTATION POUR LE DEVELOPPEMENT	
1.1 HISTORIQUE ET DEROULEMENT DU PROGRAMME.....	1
1.2 METHODOLOGIE	2
1.3 LE DISPOSITIF DE MESURE HYDROLOGIQUE	3
1.3.1 <i>les parcelles sous forêt naturelle</i>	3
1.3.2 <i>les parcelles d'essai en fourrages</i>	5
1.3.3 <i>Les bassins versants élémentaires</i>	6
1.3.4 <i>Le petit bassin versant</i>	8
1.4 DOMAINES SCIENTIFIQUES TRAITES.....	8
1.5 RESULTATS ACQUIS DANS LE DOMAINE DE L'HYDROLOGIE	10
1.5.1 <i>Variabilité des écoulements dans l'espace</i>	10
1.5.2 <i>Variabilité des écoulements dans le temps</i>	10
1.5.2 <i>Les traitements</i>	12
1.5.3 <i>Modifications des écoulements après défrichement (sur sol nu)</i>	13
1.5.4 <i>Evolution des écoulements pendant la phase de traitement</i>	16
1.5 ANIMATION, PUBLICATIONS	19
1.5 BIBLIOGRAPHIE DES PARTICIPANTS AU PROGRAMME.....	20
2 DEUXIEME PHASE : ECEREX SITE-ATELIER POUR LA RECHERCHE DE BASE	
2.1 MONTAGE INSTITUTIONNEL	26
2.2 OBJECTIFS ET METHODOLOGIE	26
2.3 CAMPAGNES DE TERRAIN REALISEES EN 1992 ET 1993	27
2.4 RESULTATS ET DISCUSSIONS.	28
2.4.1 <i>L'état initial isotopique de l'eau dans le sol.</i>	28
2.4.2 <i>Les précipitations.</i>	29
2.4.3 <i>Les crues.</i>	30
2.5 CONCLUSIONS	31
2.6 BIBLIOGRAPHIE.....	31
3 CONCLUSION ET RECOMMANDATION : POUR UN SITE ATELIER EN FORET TROPICALE FRANÇAISE	33

Ce document a été rédigé à partir de contributions de :

Bariac (1994 - contribution personnelle), Fritsch (1992), Fritsch (1994),
Fritsch et Sarrailh (1986), et Sarrailh (1990)

1 PREMIERE PHASE : ECEREX PROGRAMME D'EXPERIMENTATION POUR LE DEVELOPPEMENT

1.1 Historique et déroulement du programme

La volonté d'accélérer le processus de développement de la Guyane Française débouche en 1975 sur l'initiative de trois projets papetiers.

Dans un premier temps, les usines prévues dans ces projets devaient s'approvisionner directement à partir de l'exploitation de la forêt naturelle suivant un rythme approximatif de 15000 hectares par an. Par la suite, leur approvisionnement aurait été assuré par des reboisements en essence à croissance rapide (pins et eucalyptus) établis sur une partie des surfaces ainsi déboisées. Une deuxième part importante des surfaces déboisées aurait été laissée en régénération naturelle, et une troisième part réservée à des terres agricoles ou pastorales.

Conscient de l'impact environnemental de tels projets, les pouvoirs publics ont demandé à la recherche de mettre en place un programme d'étude et un dispositif d'observation sur le site retenu pour un des projets papetier, situé près de Sinnamary en zone côtière centrale.

Ce programme a été financé par la DGRST qui a passé plusieurs contrats au cours de la période 1977-1979 avec les organismes de recherche suivants:

- l'ORSTOM : l'Institut Français de Recherche pour le Développement en Coopération
- le CTFT : Centre Technique Forestier Tropical, département du CIRAD, Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement.
- l'INRA : Institut National de la Recherche Agronomique
- le Muséum d'Histoire Naturelle de Paris
- l'URA 689 du CNRS.

L'intitulé complet du programme était « Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais », plus connu par son acronyme ECEREX (ECologie, EROsion, EXpérimentation).

Au terme de ces contrats incitatifs (1981), l'ORSTOM et le CTFT ont poursuivi seuls leurs recherches sur fonds propres. Plusieurs financements complémentaires (CORDET, contrat de programme MRT) ont permis de réaliser des études spécifiques portant généralement sur l'évolution des aménagements. Les charges constantes de maintenance du dispositif supportées par le CTFT ont conduit cet organisme à solliciter l'appui de la Région et des diverses collectivités locales. Les moyens dégagés à ce titre (FIDOM, Chantiers de développement) ont permis d'assurer l'entretien d'une partie des traitements agronomiques et sylvicoles jusqu'au début de la décennie 90. Les bassins versants ECEREX ont également bénéficié des « crédits de jouvence » pour le renouvellement de certains équipements mis en place par le CST-BVRE.

Le comité MAB de l'UNESCO a porté un regard bienveillant sur ECEREX en inscrivant cette opération dans le programme MAB 1, (thème « *effets écologiques du développement des activités humaines sur les écosystèmes forestiers tropicaux et subtropicaux* »), lui concédant ainsi le label enviable et prestigieux de « *Man and Biosphere* ».

Dans ce contexte extrêmement finalisé d'accompagnement d'un grand projet papetier, dont il n'était pas question de remettre en cause, ni le bien fondé, ni le mode de mise en oeuvre, les objectifs du programme avaient été définis de

manière extrêmement pragmatique, comme en témoigne la liste suivante établie en 1976, au cours de la phase de montage et de présentation du programme aux bailleurs de fonds :

- Définir les techniques nécessaires à l'implantation d'écosystèmes simplifiés après l'exploitation papetière.
- Préciser et mesurer les effets que ces modifications pouvaient entraîner sur l'équilibre des facteurs de production, par comparaison avec le fonctionnement de l'écosystème initial, dont il s'agit de parfaire la connaissance.
- Estimer la productivité des écosystèmes transformés et assurer leur pérennité.
- Fonder sur les résultats acquis, des modèles d'aménagements correspondant à des schémas de mise en valeur susceptibles d'être généralisés en Guyane.

1.2 Méthodologie

Les activités requises pour la réalisation des objectifs ont été menées à deux niveaux :

- des études "diffuses" qui se sont réparties sur l'ensemble de la zone forestière du projet. Il s'agissait pour l'essentiel d'inventaires floristiques, d'études d'anatomie et de physiologie de la forêt et d'études des relations plantes-animaux.
- des études "captives", menées sur des unités expérimentales sur lesquelles ont été reproduits les traitements prévus par le projet papetier, afin d'observer et de mesurer les impacts provoqués par le déboisement et les aménagements. La quantification des bilans d'eau et des flux de sédiments avant et après traitement, nécessairement conduite sur des systèmes fermés - bassins versants ou parcelles -, avait été identifiée par les promoteurs comme un thème central de l'étude d'impact.

Ces bassins versants ont été choisis de concert par les hydrologues et les pédologues, de manière à intégrer la très grande variabilité du milieu naturel, que laissait prévoir une prospection pédologique fondée sur la dynamique de l'eau sur les versants. Le nombre de 10 bassins finalement retenu semblait adéquat, tant pour atteindre à la connaissance exhaustive du milieu naturel, que pour tester pendant la phase d'expérimentation la plupart des scénarios d'aménagements prévus.

Les caractéristiques du modelé et les contraintes hydrauliques ont été déterminantes pour fixer la surface des bassins versants à 1 ou 2 hectares. Au delà de cette surface, le lit des ruisseaux rejoint la zone inondable et il devenait difficile d'estimer les débits avec précision (étalement des écoulements, tarages non biunivoques). Par ailleurs, la réalisation des traitements devant être entièrement supportée par le programme, des surfaces plus importantes auraient été incompatibles avec les ressources financières disponibles.

Les observations ont débuté sur les 2 premiers bassins en janvier 1977 et les 2 derniers bassins ont été mis en service en décembre 1978. Le protocole prévoyait l'étude de chaque bassin versant sous forêt naturelle pendant au moins 2 saisons pluvieuses, avant de procéder au déboisement et à la mise en place du traitement retenu. Cette phase de connaissance du milieu naturel a permis d'élaborer des modèles pluies-débits des bassins versants. Ces modèles ont été utilisés ensuite pour reconstituer les écoulements des bassins traités, comme s'ils avaient encore leur couvert forestier originel, pour comparer ces écoulements avec les valeurs effectivement mesurées pendant les expérimentations, et pour évaluer

ainsi les effets des traitements. Cette reconstitution du comportement des bassins traités « comme sous forêt » s'est largement appuyée sur les informations collectées sur 2 bassins témoins, qui ont conservé leur couvert forestier originel pendant toute la durée de l'expérience, constituant ainsi des modèles hydrologiques naturels (méthode dite des bassins appariés ou des bassins jumelés).

Le terme de la phase intensive du suivi des bassins versants était fixé à la fin de l'année 1984. Par la suite, un suivi léger et limité à un échantillon des parcelles et des bassins versants a été assuré jusqu'à 1990.

Après cette première phase de recherche essentiellement finalisée, ECEREX a été utilisé comme site atelier pour des problématiques de recherche de base, sur les mécanismes du cycle de l'eau et les processus de formation de l'écoulement; (cf. partie 2)

1.3 Le dispositif de mesure hydrologique

Le dispositif de mesure des écoulements superficiels et des transports solides à diverses échelles, implanté à partir de 1977, était composé de parcelles, de bassins versants élémentaires et d'un petit bassin versant.

Les bassins élémentaires constituent le principal instrument d'investigation du dispositif hydrologique, tant pour l'identification de la variabilité du milieu naturel que pour l'évaluation des modifications après défrichement. Ils sont répartis le long de la piste de St. Elie, entre les points kilométriques 11,5 et 17,5. A vol d'oiseau, l'extension maximum du dispositif, orienté selon un axe Nord-Sud, est de 5 km (figure 1).

1.3.1 les parcelles sous forêt naturelle

Cet ensemble était composé de trois unités :

- Deux parcelles quasi-adjacentes, implantées sur une toposéquence caractéristique de sols à dynamique de l'eau superficielle et latérale) :
 - Une parcelle (P_A) de 400 m² (40 m selon la pente et 10 m de largeur). la pente est de 18% sur la partie amont de la parcelle et augmente jusqu'à 35% sur la partie aval.
 - Une parcelle (P_B) de 100 m² (10 m x 10 m) située en haut de versant, dans des conditions aussi semblables que possible de celles de la partie amont de la parcelle P_A . La pente est de 18%.
- Une parcelle (P_C) de 100 m² (10 m x 10 m) située en haut de versant sur un sol à drainage vertical libre.

La limite des surfaces drainées était matérialisée par des tôles fichées en terre sur les cotés et le sommet de chaque parcelle. La limite amont des parcelles coïncide avec la ligne naturelle du partage des eaux. Un collecteur cimenté, en forme de gouttière, affleurant la surface du sol, récupère l'écoulement superficiel et les transports solides à l'aval et sur toute la largeur de la parcelle. Ceux-ci sont dirigés dans des cuves métalliques, reliées entre elles par des partiteurs. Le relevé des volumes écoulés s'effectue tous les matins. La pluie est mesurée en clairière, à 100 m de distance des parcelles P_A et P_B , et 200 m environ de la parcelle P_C .

Les résultats recueillis sur ces parcelles ont été utilisés pour préciser les mécanismes de formation de l'écoulement superficiel à l'échelle du versant en fonction des différenciations pédologiques.

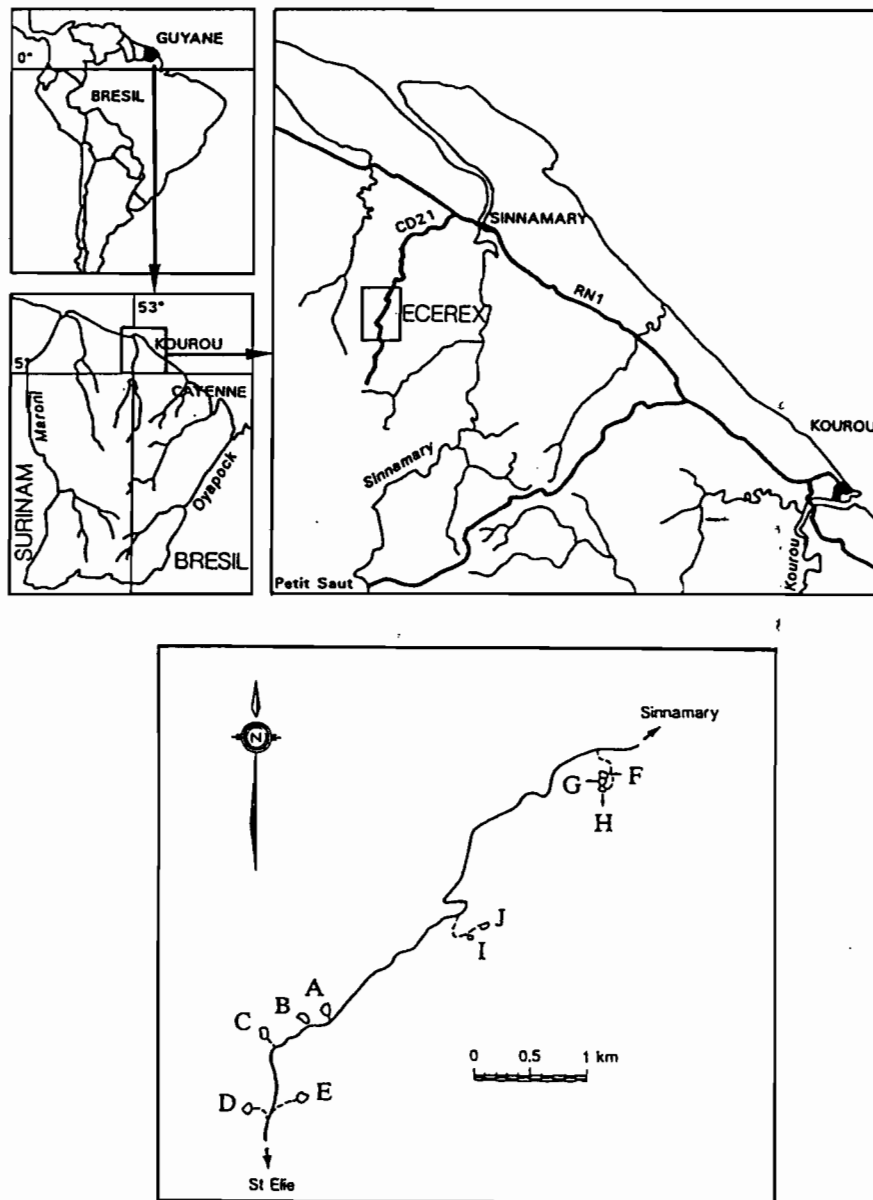


Figure 1 : le dispositif de mesures hydrologiques ECEREX

1.3.2 les parcelles d'essai en fourrages

7 parcelles plantées en fourrages ont été installées et suivies par le CTFT à partir de 1979 (figure 2). Leur surface unitaire est de 200 m² (20 m selon la pente et 10 m de large). Elles sont implantées sur une pente de 12% et sur des sols à dynamique de l'eau superficielle et latérale. Un ensemble de cuves et de décanteurs permet de recueillir les écoulements de surface et les matières solides de toutes granulométries. Les relevés sont faits après chaque crue importante.

L'objectif du dispositif était l'étude comparative des productions végétales et des effets sur l'écoulement et sur l'érosion de différents couverts herbacés. Les 7 espèces fourragères testées sont portées dans la légende de la figure 2

Ces parcelles sont complétées par une parcelle de 20 m x 5 m, exploitée selon le protocole de Wischmeier : la parcelle est maintenue en sol nu, et ratissée après chaque averse. Ce protocole est destiné à mesurer le coefficient d'érodibilité des sols, paramètre utilisé dans la formule empirique de calcul de l'érosion préconisée par cet auteur.

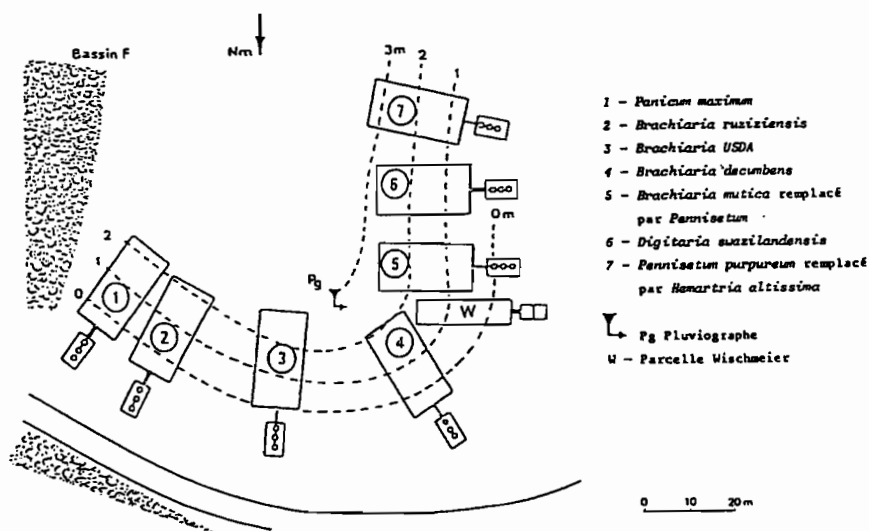


Figure 2: Les parcelles d'essai en fourrages et la parcelle Wischmeier
 Source : Fritsch et Sarrailh, (1986)

1.3.3 Les bassins versants élémentaires

Le dispositif complet était composé de 10 bassins versants élémentaires, identifiés par les lettres A à J. Ils ont été mis en service en trois temps : A, B et C en début de 1977, D, E, F, G et H au début de 1978, enfin I et J à la fin de cette même année 1978.

Comme on l'a évoqué plus haut, les contraintes hydrauliques ont été déterminantes dans le choix des sites des. Compte tenu des conditions géomorphologiques locales, cette contrainte s'est traduite par l'obligation de remonter pratiquement jusqu'au talweg d'ordre 1 pour trouver des sections de contrôle satisfaisantes. Des relevés topographiques ont permis de repérer les limites des bassins versants et de calculer les surfaces drainées (tableau 1). Celles-ci sont comprises entre 1,0 ha (bassin H) et 1,6 ha (bassin B, C et E). Les plus fortes pentes de chaque versant ont été calculées à partir des courbes de niveau (équidistance 2 mètres) et figurent en ligne 2 du tableau 1 : les bassins de plus fortes pentes sont F (35 et 31%) et J (32 et 29%) alors que les pentes les plus faibles se rencontrent sur le bassin B (17% sur chaque versant).

Le nombre et l'implantation des bassins versants ont été très largement déterminés par la variabilité pédologique identifiée dans la région. Il s'agissait d'implanter un dispositif expérimental susceptible de simuler la plupart des traitements vraisemblables sur un échantillon représentant l'ensemble de la diversité des situations naturelles, d'où la typologie pédologique suivante des bassins versants ECEREX :

- 1 bassin versant à drainage vertical libre, représenté par le bassin C.
- 5 bassins versants à dynamique de l'eau superficielle et latérale : A, F, G, H et J
Les bassins F, G et H ont des versants dont la dynamique hydrique est comparable à celles des bassins A et J, mais la partie aval de ces bassins est régulièrement affectée par un battement de la nappe phréatique qui peuvent venir jusqu'en surface en saison des pluies.
- 4 bassins versants mixtes : B, D, E et I.
Ces bassins sont mixtes, au sens où leurs couvertures sont partagées entre sols à DSL et à DVL.

Tableau 1 : Caractéristiques morphométriques et pédologiques des bassins versants

Bassin versant	C	I	E	D	B	A	J	G	F	H
Surface drainée (ha)	1.6	1.1	1.6	1.4	1.6	1.3	1.4	1.5	1.4	1.0
Pentes (%) (maximum sur chaque versant)	20-17	23-23	30-20	28-18	17-17	20-20	32-29	34-26	35-31	24-19
Sols à Drainage Vertical Libre (DVL en %)	99	60	57	60	10	0	2	0	0	0
Nappe affleurante (surface en %)	-	-	-	-	-	-	-	10	4	14

Les 10 bassins versants étaient entièrement occupés par la forêt primaire, dans la mesure où aucune activité forestière ou agricole de quelque importance n'avait pu s'installer dans le passé sur ce site éloigné de toute rivière navigable. La piste d'accès n'a été ouverte qu'en 1976, pratiquement au début du programme d'étude. Le couvert forestier était donc homogène et indifférencié, au sens sylvigénétique du terme.

Équipement hydrométrique

Chaque bassin versant était équipé comme suit :

- **Un canal en maçonnerie**, de section 1 m x 1 m, s'ouvrant en entonnoir à l'amont pour mieux capter l'écoulement. Ce canal débouche sur une fosse à sédiments de 1,5 m de profondeur.
- **Une structure de contrôle hydraulique** des débits faisant suite à la fosse à sédiments. Ce contrôle est constitué par un déversoir métallique à lame mince, à ouverture en V selon un angle de 30° sur 7 bassins versants, et par un déversoir de type *H Flume* sur les 3 bassins F, G et H. Les débits maximaux contrôlables sont de 410 l.s⁻¹ pour les déversoirs en V (pour une charge H = 100 cm) et de 500 l.s⁻¹ pour les *H Flumes* (H = 80 cm).
- **Un limnigraphe à flotteur**, à tambour, de type OTT X, avec une réduction des hauteurs au 1/5. Les diagrammes sont changés tous les matins en saison des pluies (décembre-juillet), ce qui permet d'opter pour une vitesse de déplacement du diagramme de 12 mm.h⁻¹. Pendant la saison sèche, la fréquence des relevés est hebdomadaire et impose une vitesse de défilement de 4,0 mm.h⁻¹. Cette vitesse qui se traduit au dépouillement par une imprécision sur les temps supérieure à 30 minutes, qui n'est acceptable que dans la mesure où les crues sont très rares pendant la saison sèche. En saison des pluies une telle vitesse de défilement ne permet pas de connaître les flux hydriques avec la précision requise. Ce fait est important au plan logistique et financier car l'équipement décrit ne permettait pas d'assurer une veille hydrologique (avec une seule visite sur le terrain par semaine), qui aurait permis le fonctionnement des bassins ECEREX à un coût plus réduit.
- **Un pluviographe à augets basculeurs** de type Précis-Mécanique 3030, avec inscription sur tambour et entonnoir de 400 cm², (soit 0,5 mm de pluie par basculement). Les vitesses d'enregistrement sont respectivement de 15 mm.h⁻¹ en saison des pluies et de 2,3 mm.h⁻¹ en saison sèche. L'appareil est installé au centre d'une clairière, ouverte pour la circonstance à l'aval immédiat de la station hydrométrique.

Les pluviogrammes ont été dépouillés sur un numériseur BENSON 6201. Les temps des basculements peuvent être connus à 2 minutes près (0.5 mm sur le papier en saison des pluies).

Les hauteurs d'eau ont été dépouillées à la main, avec un pas de temps variable, et reportées sur bordereaux de saisie. Pour suivre fidèlement les variations du plan d'eau, l'écart entre deux points sélectionnés successifs peut descendre à 2 minutes. Les côtes sont exprimées en millimètres, et connues à 2 mm près (soit 0.4 mm sur l'enregistrement graphique).

1.3.4 Le petit bassin versant

Ce "petit" bassin est l'unité de drainage la plus vaste suivie à ECEREX. Une station hydrométrique a été installée sur la Crique Délices à la fin de 1980. A ce point, la surface du bassin versant, tracé sur la carte IGN au 1/50 000 (feuille Iracoubo NE) est de 4,5 km². Ce bassin versant englobe complètement les 4 bassins élémentaires A, B, C et E.

Les sols du bassin versant ont été identifiés par Boulet, en fonction des stades d'évolution des interfluves. Le bassin considéré dans son ensemble est très favorable aux écoulements de crue, puisque les zones au comportement imperméable occupent 75% du bassin, à savoir 7,4% de nappes affleurantes, et 54,5% de sols à dynamique superficielle et latérale.

En 1981, la couverture forestière sur le bassin versant était pratiquement intacte, à l'exception de 4 bassins versants expérimentaux défrichés en 1979 et 1980 (A, C, D et E), des 4 clairières où étaient assurées les mesures de pluie, de la zone d'emprise de la piste de St. Elie qui traverse ce bassin versant dans le sens de sa plus grande longueur, et d'une zone d'emprunt de matériaux pour la construction de la piste. L'ensemble de ces défrichements couvrait environ 25 ha, c'est à dire 5% du bassin. On peut donc considérer que les observations ont porté sur un bassin recouvert de forêt pendant l'année de suivi de ce bassin. Les résultats hydrologiques de la Crique Délices en 1981 représentent donc, avec la meilleure précision possible, une intégration globale du comportement hydrologique de la zone.

La station était équipée d'un limnigraphe à flotteur (réduction au 1/5), avec inscription sur un tambour à rotation hebdomadaire. Les jaugeages de basses eaux ont été faits à gué, au micro-moulinet. Une passerelle a été jetée en travers du lit mineur (largeur 10 m) pour permettre les jaugeages au moulinet sur perche mobile en eaux moyennes.

Les limnigrammes ont été dépouillés à la main, avec un pas de temps fixe en étiage (4 lectures par jour) et avec un pas variable en période de crue. La pluie moyenne journalière sur ce bassin versant a été calculée par la méthode de Thiessen, à partir des relevés pluviométriques faits dans les clairières des bassins élémentaires imbriqués (A, B, C, E) ou très proches (D, I, J).

1.4 Domaines scientifiques traités

On peut établir la liste suivante, sommaire, et certainement incomplète de l'ensemble des domaines scientifiques étudiés à ECEREX, (actions « captives » sur des bassins versants et des parcelles et recherches « diffuses » sur l'ensemble de la zone d'étude)

Domaines scientifiques	Chercheurs principaux	Organisme
Caractérisation pédologique	Boulet, Grimaldi	ORSTOM
Bilans hydriques et érosion sur bassins	Roche, Fritsch	ORSTOM
Bilans hydriques et érosion sur parcelles	Sarrailh	CTFT
Interception de la pluie	Ducrey	INRA
Zone non-saturée	Ducrey, Guehl	INRA
Bioclimatologie	Finkelstein	INRA
Inventaire floristique forêt naturelle	Lescure	ORSTOM
Phytomasse, litière	Lescure, Puig	ORSTOM, Paris X
Chablis, Nécromasse	Riera	ORSTOM
Accroissements	Prévost, Puig	ORSTOM, Paris X
Phénologie	Sabatier	ORSTOM
Régénération en forêt primaire	Maury	MUSEUM
Régénération après exploitation	Sarrailh	CTFT
	Maury	MUSEUM
	De Foresta, Prévost	ORSTOM
Biologie des sols	Betsch	MUSEUM
Pluviollessivats	Kilbertus	MUSEUM
Mise en place et suivi des traitements sur bassin expérimentaux et parcelles	Sarrailh	CTFT
Coordination, animation	Sarrailh	CTFT

1.5 Résultats acquis dans le domaine de l'hydrologie

Le Comité Scientifique et Technique des BVRE français, à la demande duquel a été préparé ce rapport, étant essentiellement concerné par les résultats acquis en hydrologie, on évoquera ici sommairement quelques résultats marquants dans ce domaine.

1.5.1 Variabilité des écoulements dans l'espace

La variabilité de l'écoulement sous couvert forestier a pu être évaluée pendant une période initiale de deux années (1977-79) correspondant aux conditions originelles de végétation. Dans des conditions d'apports pluviométriques pratiquement identiques compte tenu de la proximité des sites, les écoulements de crues ont variés dans une proportion de 1 à 5 sur l'ensemble du dispositif, c'est à dire que ces écoulements ont représentés de 7,3% à 34,4% de la pluviométrie moyenne interannuelle sur la période (figure 3)

Cet écart considérable s'explique par la combinaison des descripteurs pédologiques mentionnés précédemment. La figure 4 synthétise ces conclusions. On a représenté les coefficients d'écoulement en crue en fonction du pourcentage de sols à drainage vertical sur le bassin. Une première famille de bassins s'individualise (J,A,B,D,E et C). Elle englobe les bassins sur lesquels le processus de nappe affleurante en saison des pluies n'a pas été observé. Pour ce groupe, le caractère « pourcentage de sols de type DVL » est pertinent et détermine un coefficient d'écoulement des crues de l'ordre de 20% pour DVL=0 et inférieur à 10% pour DVL = 100. Les bassins F, G et H constituent une deuxième famille correspondant aux bassins pour lesquels la proportion de sols en drainage vertical libre est égale à zéro, mais qui présentent une nappe affleurante. Les coefficients d'écoulement dépassent de 10 à 15% la prédiction des bassins du premier groupe, gain qui est en rapport avec le pourcentage de surface occupée par les nappes, sur lesquelles le coefficient d'écoulement est de 100%

1.5.2 Variabilité des écoulements dans le temps

Les données collectées sur les bassins témoins permettent de caractériser la variabilité temporelle des écoulements, à couverture végétale invariante. Les résultats fournis par le bassin témoin B sur une période continue de 7 ans, déterminent une gamme d'écoulements compris entre 300 mm et 723 mm, qui sont dans un rapport de 2,4 (tableau 2).

Tableau 2 : Ecoulements annuels du bassin témoin B (sous forêt)

Année	Écoulement de crue (mm)	Écoulement total (mm)
1977	723	743
1978	541	563
1979	652	668
1980	437	461
1981	300	322
1982	485	505
1983	373	490

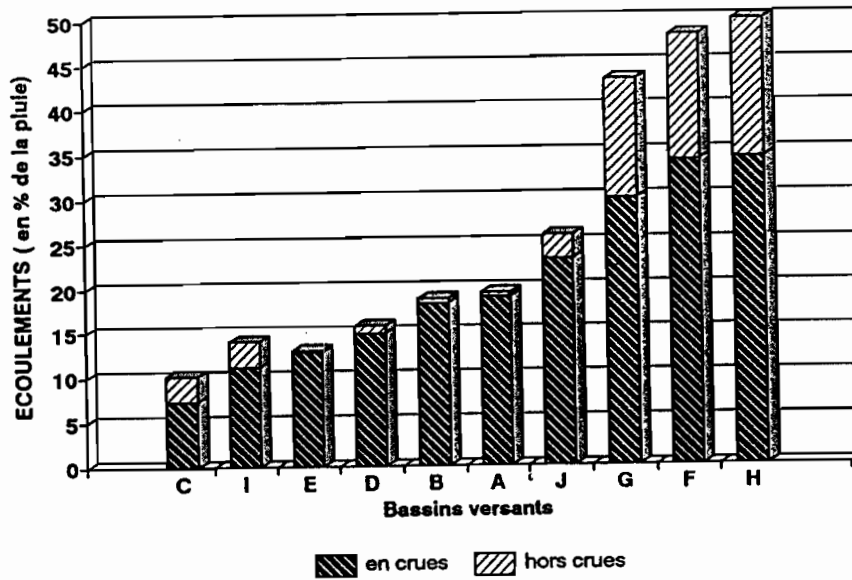


Figure 3 : Variabilité spatiale des coefficients d'écoulement sous forêt primaire

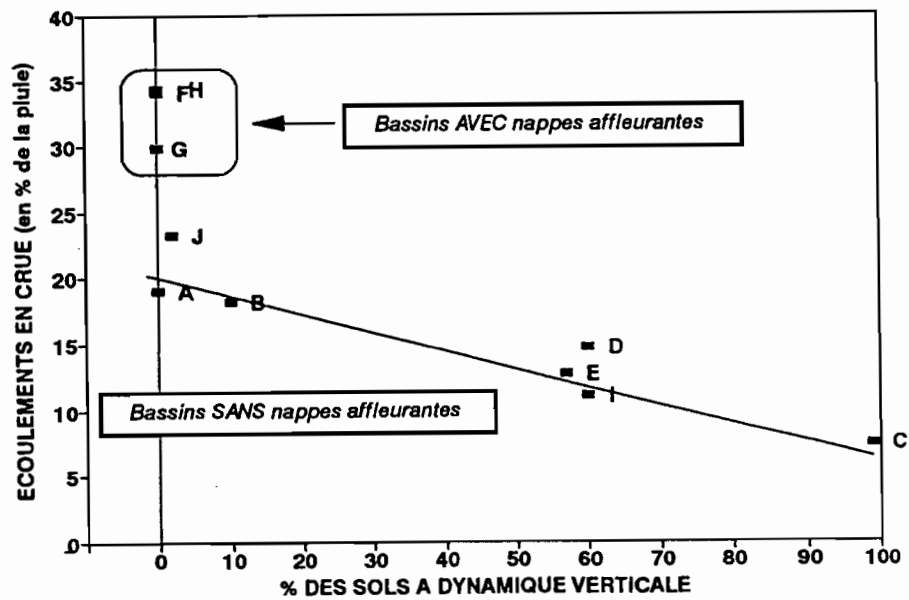


Figure 4 : Variabilité des coefficients d'écoulement et descripteurs pédologiques

Le dispositif ECEREX est donc caractérisé par une assez forte hydraulicité et une très large variabilité hydrologique spatiale. Ces éléments, qui constituent un bruit de fond particulièrement élevé par rapport à la problématique de l'expérimentation, doivent bien évidemment être pris en compte pour interpréter et évaluer des effets des traitements.

1.5.2 Les traitements

Deux bassins versants ont été sélectionnés pour assurer la fonction de témoin. Le bassin F a été retenu comme témoin pour les bassins à forts écoulements et/ou à nappe affleurante (J, G et H). Le bassin B (avec 10% de sols en DVL) permet de suivre les bassins traités pour lesquels le processus de nappe affleurante n'a pas été identifié et ceux ayant une proportion modeste de sols en DVL. Ceci caractérise bien le bassin A et dans une moindre mesure les bassins D et E. Par contre, ce témoin B est mal adapté pour prédire le comportement du bassin C, qui avec pratiquement 100% de sols en DVL est un élément singulier dans le dispositif. On doit donc s'attendre à une reconstitution des écoulements moins précise pour ce bassin C que pour les autres bassins expérimentaux.

Les traitements qui ont été appliqués sont considérés comme caractéristiques des procédures d'exploitation forestière dans cette région.

- La phase initiale est dite *d'exploitation forestière*. Elle comporte l'abattage à la scie à chaîne des gros arbres (> 40 cm de diamètre) et le façonnage des troncs en grumes. Des pistes de débardage sont ouvertes par un tracteur à chenilles léger (type Caterpillar D4) équipé d'une lame frontale droite. L'extension des pistes est de l'ordre de 240 m.ha⁻¹. Les grumes sont débardées en dehors du bassin, vers le haut, par un tracteur à pneus. Les arbres plus petits ou considérés comme impropres au plan commercial sont laissés sur pied. Les houppiers et les branches sont abandonnés sur place. Aucun déracinement volontaire n'est réalisé à ce stade.
- L'étape suivante dite du *défrichement agricole*, fait en général suite à l'exploitation forestière. Celui-ci est réalisé par des tracteurs à chenilles lourds (type Caterpillar D8 ou D9) équipés à l'avant d'une lame forestière (type Rome) utilisée pour coucher les arbres restés sur pied et à l'arrière de puissantes griffes hydrauliques qui permettent de dessoucher l'ensemble de la zone déboisée. La phase ultime du défrichement voit le regroupement de tous ces débris sous formes de lignes d'andains, disposées parallèlement aux courbes de niveaux. Cette opération est réalisée par un chenillard équipé d'une lame en râteau. Ces andains sont brûlés dès que les conditions climatiques le permettent (occurrence d'une période suffisamment sèche).

Les spéculations suivantes, correspondant aux scénarios de développement les plus vraisemblables, ont été appliquées sur les bassins expérimentaux.

Recru forestier naturel

Ce scénario se caractérise par l'absence de toute intervention humaine postérieurement au déboisement ou au défrichement. Deux variantes ont été testées :

- Recru naturel, après exploitation forestière simple sur le bassin E.
- Recru naturel, après exploitation forestière et défrichement agricole sur le bassin D.

Plantation d'espèces forestières à croissance rapide

- Pins (*Pinus caraiïbea*, var. *Hondurensis*) sur le bassin G.
- Eucalyptus (*E. grandifolia*, origine Florès) sur le bassin H.

Verger d'agrumes

Le bassin C présentant les conditions agro-pédologiques les plus favorables (sols profond et bien drainés) a été voué à un essai de verger de pomelos.

Plantations fourragères

Le bassin A a été transformé en une prairie pâturée de *Digitaria swazilandensis*

Agriculture itinérante traditionnelle sur brûlis

Les techniques d'exploitation manuelle de la forêt ne figuraient pas explicitement parmi les préoccupations du plan de développement de la Guyane. Cette spéculation non mécanisée a néanmoins été incluse dans les traitements testés, de manière à fournir des informations sur les effets d'un traitement généralement considéré comme ayant un impact limité sur les écoulements. Le bassin I a été traité de la sorte.

Le dernier bassin expérimental (J) a été défriché et transformé en prairie, puis a été planté en framirés, espèce forestière africaine à croissance intermédiaire. Cette spéculation est intervenue trop tardivement dans le chronogramme pour avoir pu être prise en considération. Pour ce bassin J, seules les informations relatives à la période immédiatement consécutive au défrichement ont été traitées et sont présentées ici.

Six des huit bassins expérimentaux (tous ceux ayant subi un défrichement agricole) se sont trouvés en situation de sol nu au début de la période d'expérimentation, les exceptions étant constituées par les bassins I (agriculture traditionnelle) et E (exploitation forestière non suivie d'un défrichement). Cette situation a constitué une opportunité pour comparer les réponses hydrologiques de bassins totalement défrichés et que l'on savait être à l'origine très différents au plan hydrologique.

1.5.3 Modifications des écoulements après défrichement (sur sol nu)

La période définie comme étant en sol nu est de durée variable selon le bassin considéré, mais celle-ci inclut nécessairement le coeur de la saison pluvieuse (janvier à juin). L'augmentation des écoulements de crue, c'est à dire la part des lames d'eau écoulées qui peut être attribuée au traitement durant cette première saison des pluies après défrichement fait l'objet du tableau 3. Ces augmentations sont comprises entre 244 mm et 762 mm selon le bassin considéré.

Tableau 3 : Augmentation des écoulements de crue au cours de la première saison des pluies après défrichement (sol nu)

BASSIN VERSANT	C	D	A	J	G	H
Année	1979	1981	1979	1983	1981	1981
Ecoulements observés (mm)	682	479	1616	1037	1388	1453
dont augmentation imputable au traitement (mm)	304	244	762	384	621	560

Les valeurs de cette augmentation (prédiction de la moyenne) ainsi que les valeurs correspondant aux bornes de l'intervalle de confiance à 90% sont représentées sur la figure 5. Les augmentations déduites des variations de pentes des droites de doubles cumuls ont également été reportées sur cette figure. On peut constater que les gains d'écoulement sont très significatifs pour l'intervalle de confiance considéré et que la méthode des doubles cumuls aboutit à des conclusions du même ordre de grandeur que la méthode analytique.

Mais ces gains d'écoulement ne sont pas comparables entre eux, car l'expérimentation n'a pas eu lieu la même année sur tous les bassins et la variabilité interannuelle vient donc masquer les effets du traitement. Par ailleurs, il faut attendre un certain temps pour voir apparaître une réponse stationnaire entre bassins témoins et bassin traités. Cette *période de réponse stabilisée* a été déterminée par la méthode statistique des ellipses de Bois. La mise en oeuvre de la méthode est explicitée dans Fritsch (1992).

Les résultats de l'analyse des données portant sur cette *période de réponse stabilisée* font l'objet du tableau 4 et de la figure 6.

- Les gains d'écoulement observés sur sol nu ont varié dans une gamme comprise entre +66% et +199% des écoulements recalculés "comme sous forêt" pour le bassin considéré.
- L'ordre de classement des bassins par écoulements croissants en forêt primaire (soit C,D,A,J,G,H) correspond à l'ordre inverse des accroissements relatifs d'écoulement après traitement (figure 6). Exprimés en pourcentage par rapport au milieu forestier, les gains dus au traitement sont les plus élevés sur les bassins qui présentaient les écoulements les plus faibles en conditions originelles. On peut dire que l'impact du défrichement est plus important sur les sols à DVL, qui sont les meilleurs en termes de potentialité agronomique.
- Toutefois, les gains les plus élevés en valeurs absolues (lames écoulées exprimées en mm) ont été observés sur les bassins qui présentaient à l'origine les écoulements les plus forts.

Tableau 4 : Augmentation de l'écoulement de crue pour les bassins en sol nu pendant la période de *réponse stabilisée*

BASSIN VERSANT	C	D	A	J	G	H
Pluie (mm)	1448	2207	2349	2071	1445	1620
Écoulements observés "sol nu" (mm)	342	450	1341	954	772	787
Idem (en % de la pluie)	23.6	20.4	57.1	46.1	53.4	48.6
Écoulements calculés "sous forêt" (mm)	114	181	627	483	414	475
Idem (en % de la pluie)	7.9	8.2	26.7	23.3	28.7	29.3
Accroissement des écoulements (mm)	228	269	714	471	358	312
Idem (en % de la pluie)	15.7	12.2	30.4	22.7	24.8	19.3
Accroissement des écoulements après défrichement (en % de l'écoulement sous forêt)	199	149	114	97	87	66

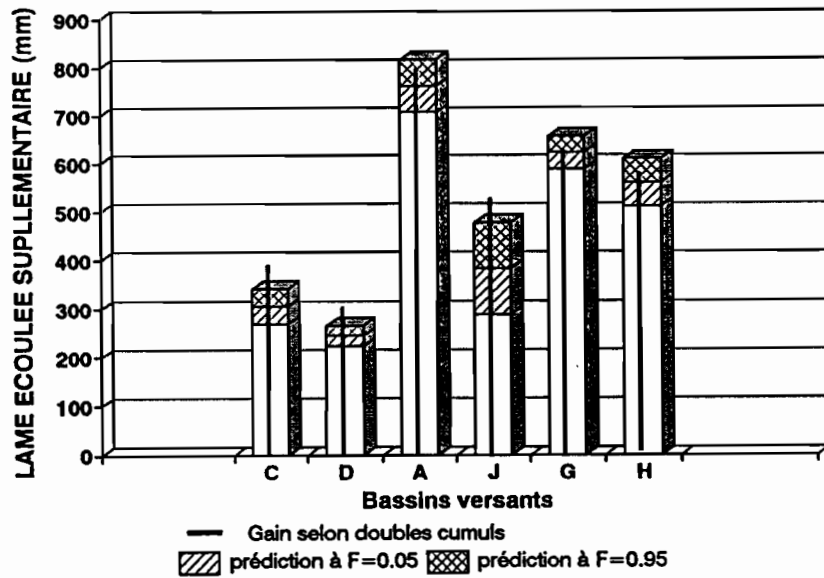


Figure 5 : Gains d'écoulement sur sol nu pendant la saison pluvieuse consécutive au défrichement (en mm)

- (1) calculés par corrélation (moyenne et valeurs de l'intervalle de confiance à 90%)
- (2) selon les rapports des pentes des doubles cumuls

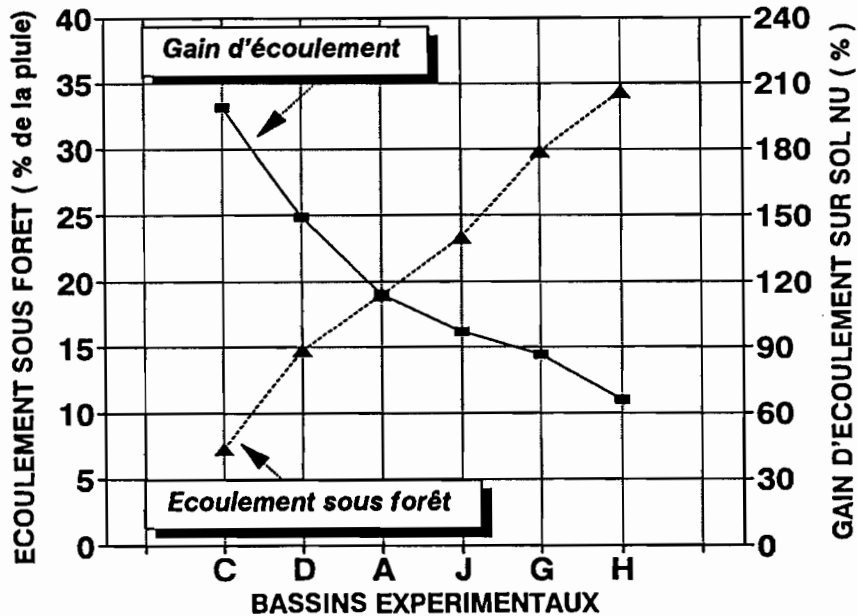


Figure 6 : Gains d'écoulements après défrichement durant la période de réponse stabilisée (en %) et coefficients d'écoulement en forêt naturelle

1.5.4 Evolution des écoulements pendant la phase de traitement

Les effets des traitements sur les écoulements de crue des bassins expérimentaux pendant les années qui ont suivi le déboisement sont présentés sur le tableau 5. La représentation graphique de ces chiffres fait l'objet de la figure 7. La colonne de gauche présente les traitements de type forestier et celle de droite les aménagements à finalité agricole ou pastorale. On constate que les gains d'écoulement qui étaient particulièrement élevés au cours de la période en sol nu ont diminué très sensiblement sur tous les bassins les années suivantes. Une analyse plus détaillée amène à faire les commentaires suivants :

Tableau 5 : Augmentation des écoulements de crue pendant les traitements, exprimée en % de l'écoulement sous forêt.

Bassin	Année 1 Sol nu (*)	Année 2	Année 3	Année 4	Année 5	Année 6
C Verger de pomelos	199	73	17	63	46	
I Agriculture itinérante sur brûlis		23	30			
E Recrû après exploitation forestière sans défrichement		4	26	2	-6	
D Recrû après exploitation forestière avec défrichement	149	40	32	16		
A Prairie pâturée après défrichement	114	59	63	47	27	
J Prairie après défrichement	97					
G Pins après défrichement	87	62	33			-12
H Eucalyptus après défrichement	66	47	12			-8

(*) : période de réponse stabilisée

- Comparaison entre exploitation forestière simple et exploitation suivie d'un défrichement

L'exploitation forestière lourdement mécanisée qui a été réalisée sur le bassin E s'est traduite par une augmentation de l'écoulement annuel qui n'a jamais dépassé de plus de 26% la valeur existante sous forêt. Pourtant les effets de ce traitement ont été très spectaculaires : l'ouverture de pistes de débardage s'apparente à de véritables travaux de terrassement, les petits arbres restant sur pieds sont abîmés par le passage des engins ou par la chute des gros individus, etc.

L'évolution des écoulements sur le bassin D, qui a subi ultérieurement un défrichement agricole est très différente puisque le gain en première année a été de 149%. La différence entre ces deux chiffres (26% et 149%) met

clairement en évidence l'effet du déssouchage et du « nettoyage » de la surface réalisés à l'occasion du défrichement.

Au bout de 4 ans, l'écoulement de crue sur ce bassin défriché (D) n'était plus que de 16% supérieur à la valeur que l'on aurait observée sous forêt. Sur le bassin non défriché (E) et pour cette même année, le gain calculé est de - 6%, valeur qui n'est pas significativement différente de zéro. On doit donc considérer que l'écoulement annuel a retrouvé son niveau d'origine. Ceci ne signifie aucunement que tous les composants physiques et vivants de l'écosystème aient retrouvé leur état initial. Bien au contraire, comme l'ont montré les relevés pédologiques, les études botaniques et les inventaires forestiers, les perturbations induites par le traitement seront sensibles durant des décennies.

- La prairie pâturée

Cet essai réalisé sur le bassin A se définit comme une prairie artificielle, plantée en *Digitaria swazilandensis* et pâturée avec une charge animale ayant varié entre 5 et 10 jeunes bovins selon les époques (respectivement équivalents à 1200 et à 3300 kg.ha¹). La prairie a été plantée par bouturage, d'où une croissance extrêmement rapide et un taux de couverture élevé atteint quelques semaines seulement après la plantation. Malgré ces conditions *a priori* favorables à une bonne économie de l'eau, on constate néanmoins que les écoulements sont restés particulièrement abondants pendant 3 ans, avec des valeurs de gain autour de +60% les deux premières années et de +50% l'année suivante. Il faut attendre la quatrième année pour voir s'amorcer une tendance décroissante de ces forts écoulements, qui représenteraient encore 30% de plus que le niveau originel sous forêt. Il apparaît clairement que la prairie pâturée, même implantée et gérée dans des conditions optimales, est un mode d'utilisation du sol qui génère des écoulements de crue nettement supérieurs à ceux de la forêt. Cette conclusion est évidemment de première importance quand on sait que cette spéculation occupe des surfaces considérables en Amérique tropicale.

- Les traitements sylvicoles

Les bassins G et H qui présentaient les conditions de sols les moins favorables au plan agronomique (hydromorphie de versant et nappe affleurante de bas-fond) ont été traités en sylviculture à croissance rapide (pins sur G et eucalyptus sur H). Si les gains d'écoulement la première année ont été proportionnellement les plus faibles comparés aux autres bassins versants, les effets se sont maintenus à des niveaux pratiquement équivalents pendant la deuxième année. Les chiffres sont respectivement de 87+ % en année 1 et de +62% en année 2 sur G, et de +66% et de +47% sur H. Il faut attendre la troisième année après le défrichement pour observer une réduction significative des écoulements sur le bassin planté en eucalyptus (+12%), alors que ceux-ci se maintiennent encore à +33% sur le bassin en planté en pins. Ces chiffres sont à mettre en rapport avec les techniques d'entretien des plantations : il est nécessaire de protéger les jeunes plants de la concurrence du recru naturel et un anneau de protection doit être ménagé autour de chaque jeune plant par des moyens mécaniques (sarclage) ou chimiques (herbicide). Ces pratiques amènent à maintenir la plus grande part de la surface du bassin dans un état comparable à celui d'un sol nu, pendant une période où le développement des arbres est encore insuffisant pour apporter un couvert protecteur significatif.

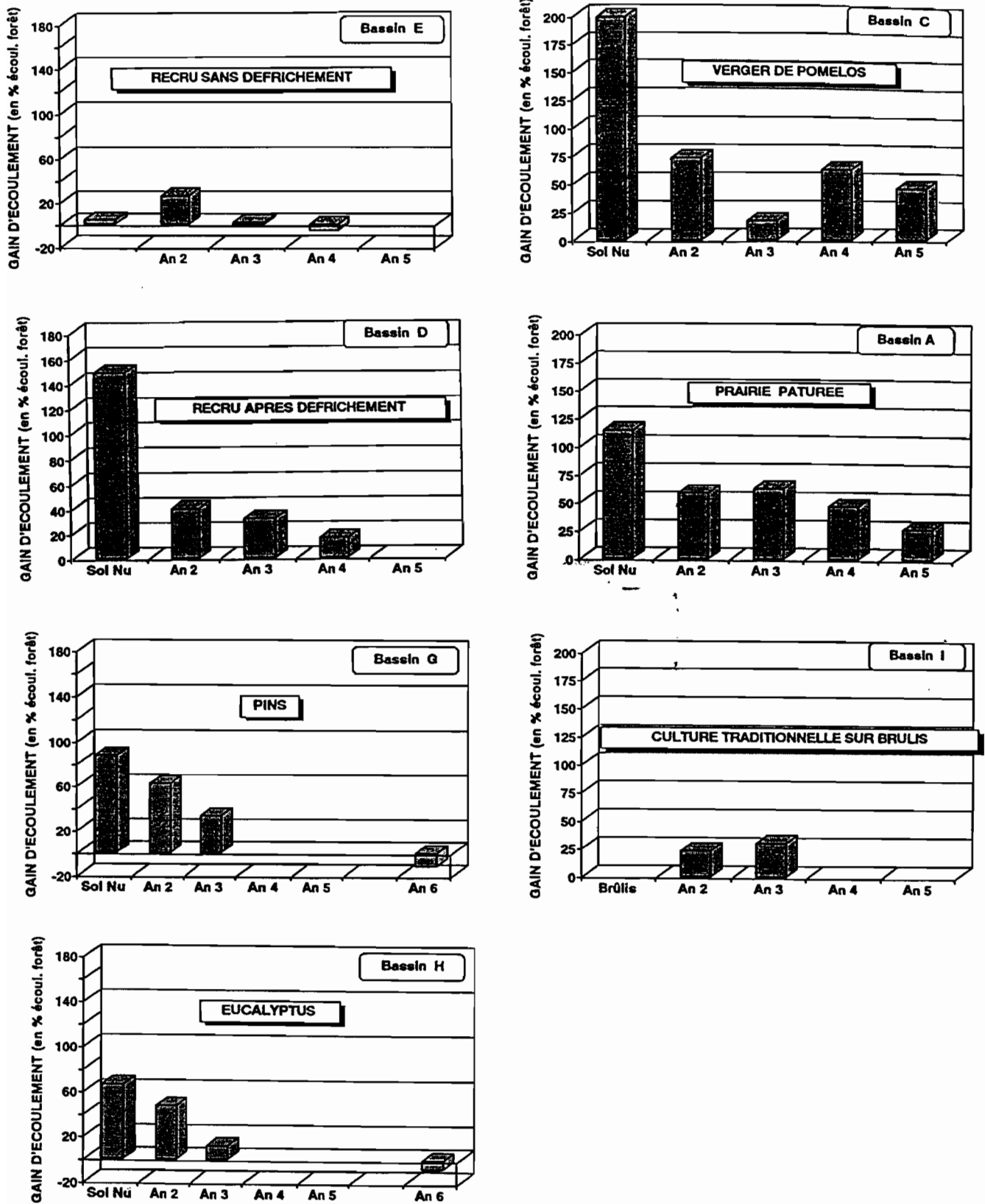


Figure 8 : Evolution des gains d'écoulement annuels pour différents aménagements
Colonne de gauche : traitements de type forestier (recru et plantations sylvicoles)
Colonne de droite : traitements de type agricole (prairie, verger, brûlis traditionnel)
 (Les échelles verticales ne sont pas identiques sur tous les graphiques)

- La culture traditionnelle sur brûlis

La spécificité de cet aménagement est qu'aucun engin roulant n'a été utilisé pour sa réalisation. Le seul apport énergétique externe est constitué par une tronçonneuse à chaîne utilisée pour l'abattage. Les phases ultérieures de plantation et de récolte ont été entièrement manuelles. L'agriculture de subsistance familiale qui a été simulée s'est traduite par la plantation d'un grand nombre d'espèces vivrières, telles que manioc, patates douces, maïs, pastèques, bananes, plantains, ananas, citronniers, etc. Comparés aux effets des traitements mécanisés, les impacts hydrologiques ont été bien inférieurs : +23% la première année et +30% la seconde année, ce gain en deuxième année pouvant s'expliquer par un pourcentage plus important du bassin planté en maïs durant cette période. Ces accroissements restent relativement modestes, surtout si l'on considère que les sols à drainage libre, qui constituent 60% de ce bassin, se sont avérés particulièrement réactifs au plan hydrologique. Mais on ne saurait dire pour autant que les effets hydrologiques de cette agriculture sur brûlis peuvent être tenus pour négligeables. Le site est généralement abandonné au bout de 2 ans et l'évolution hydrologique prévisible est celle qui a été observée sur le bassin E (exploitation forestière sans défrichement).

- Le verger d'agrumes

Un verger de 480 jeunes pomelos (pamplemousses à chair rose) a été implanté sur le bassin C qui bénéficiait des meilleures conditions agropédologiques. Un couvert herbeux dense de *Brachiaria USDA* a été planté entre les arbres pour protéger le sol. L'aménagement se décrit donc comme une prairie sous verger. Comme on l'a constaté au moment de l'analyse des écoulements sur sol nu, ce bassin avec pratiquement 100% de sols à drainage vertical libre, change radicalement de comportement hydrologique après traitement. Après des gains d'écoulement de 200% ayant affecté la période de réponse stabilisée en sol nu, ceux-ci se réduisent quelque peu, et on a mis en évidence des valeurs de +73% en année 2, (gain de 196 mm), +17% en année 3 (gain de 25 mm), +63% en année 4 (gain de 141 mm) et de +46% en année 5 (gain de 128 mm). La variation temporelle de ces gains paraît tout à fait erratique, mais les données des années 2, 4 et 5 ne sont pas significativement différentes entre elles (au risque de 0,05). On peut simplement conclure que l'augmentation de l'écoulement de crue sur ce bassin est d'environ 50% par rapport au milieu forestier, sans pouvoir toutefois apporter une réponse indiscutable sur l'évolution de ce chiffre dans le temps.

D'autres résultats ont été mis en évidence concernant les effets des traitements sur l'érosion (Fritsch & Sarrailh, 1986), sur l'évolution des gains d'écoulement à l'échelle décadaire et sur les débits de pointe (Fritsch, 1992).

1.5 Animation, publications

- L'ensemble des participants au programme communiquaient leur premiers résultats au travers d'une publication grise, reproduite par procédé ronéo au centre ORSTOM de Cayenne et tirée à 200 ou 300 exemplaires, le « *Bulletin de liaison du groupe de travail ECEREX* ». Dix numéros ont été réalisés entre 1977 et 1983. On y trouve les versions originelles de la plupart des publications éditées ensuite par les journaux scientifiques.

- Un séminaire scientifique s'est tenu en mars 1983 (« *Les Journées Scientifiques de Cayenne* »), au cours duquel les participants ont présenté l'ensemble des résultats acquis pendant la période 1977-1981, qui correspondait à celle de la manne budgétaire des crédits DGRST.
- Une réunion scientifique de clôture a eu lieu à Kourou fin 1989.
- Une publication de synthèse a été éditée en 1990 dans une collection de l'INRA, « *Mise en Valeur de l'Ecosystème Forestier Guyanais - Opération ECEREX* » (J.M. Sarrailh éditeur scientifique). Par suite de délais de réalisation extrêmement longs, cet ouvrage reprend essentiellement des contributions faites aux Journées de Cayenne de 1983, légèrement amendées.
- Un grand nombre de publications de tous types ont été produites durant cette première phase du programme ECEREX. La liste fournie en annexe qui se voudrait sinon exhaustive, du moins représentative, est le résultat d'une compilation des références des articles publiés dans l'ouvrage cité.

1.5 Bibliographie des participants au programme

Bailly C., 1975. Note sur les problèmes posés par l'érosion et le maintien des facteurs naturels de production dans le cadre des projets de mise en valeur de la Guyane. Mission BUMIDOM. Multigr. 24 p.

Betsch J.M., 1987. Effets des types d'aménagement de la forêt tropicale humide (Guyane française) sur les microarthropodes de la litière et du sol. B.R. Striganova Ed., Proc. IX. Int. Coll. Soil Zool., Moskow, Nauka, 183-191.

Betsch J.M., Betsch-Pinot M.C., 1983. Recolonisation d'une coupe papetière par les microarthropodes du sol, en particulier des Collembolés, en forêt dense humide subéquatoriale (Guyane française). In Lebrun et al. Ed., Proc. VIII. Int. Coll. Soil Zool., Louvain la Neuve (Belgique), 519-533.

Betsch J.M., Betsch-Pinot M.C., Mikhalevitch Y., 1981. Évolution des peuplements de microarthropodes du sol en fonction des traitements subis par une forêt dense humide en Guyane française. Acta col., col. Gen., 2, 245-263.

Betsch J.M., Kilbertus G., Proth J., Betsch-Pinot M.C., Coûteaux M.M., Vannier G., Verdier B., 1980. Effets à court terme de la déforestation à grande échelle de la forêt dense humide en Guyane française sur la microfaune et la microflore du sol. In Dindal Ed., Proc. VII. Int. Coll. Soil Zool., Syracuse (USA, NY), Washington D.C., EPA 13-80-038, 472-490.

Boulet R., 1977. Aperçu sur le milieu pédologique guyanais. Caractères originaux et conséquences sur la mise en valeur. Rapport ORSTOM. Cote P. 150, 36 p.

Boulet R., 1978. Existence de système à forte différenciation latérale en milieu ferrallitique guyanais : un nouvel exemple de couvertures pédologiques en déséquilibre. Sci. Sol., 2, 75-82.

Boulet R., 1979. Cartographie pédologique des bassins versants. État d'avancement des travaux et premiers résultats. Bull. liaison DGRST, ECEREX, 2, 12-18, 3 fig.

Boulet R., 1983. Organisation des couvertures pédologiques des bassins versants ECEREX. Hypothèses sur leur dynamique. In « Le projet ECEREX (Guyane). Analyse de l'écosystème forestier tropical humide et des modifications apportées par l'homme ». Journées de Cayenne, 4-8 mars 1983. Doc. multigr., 23-52.

- Boulet R., 1983. Organisation des couvertures pédologiques des bassins versants ECEREX. Hypothèses sur leur dynamique. *In* Sarrailh Ed., Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais, INRA, 15-45.
- Boulet R., Brugière J.M., Humbel F.X., 1979. Relation entre organisation des sols et dynamique de l'eau en Guyane française septentrionale. Conséquences agronomiques d'une évolution déterminée par un déséquilibre d'origine principalement tectonique. *Sci. Sol*, 1, 3-18.
- Boulet R., Fritsch J.M., Humbel F.X., 1978. Méthode d'étude et de représentation des couvertures pédologiques de Guyane française. Rapport ORSTOM, Cote P. 177, 24p.
- Charles Dominique P., Atramentowicz M., Charles Dominique M., Gérard H., Hladick A., Hladick C.M., Prévost M.F., 1981. Les mammifères frugivores arboricoles nocturnes d'une forêt guyanaise : inter-relations plantes-animaux. *Rev. Écol., Terre Vie*, 35, 341-435.
- Coûteaux M.M., 1979. L'effet de la déforestation sur le peuplement thécamoebien en Guyane française : étude préliminaire. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 16, 403-413.
- Dubreuil P., Bailly C., 1976. Recherches sur les possibilités de mise en valeur et de transformation de l'écosystème forestier tropical humide et les effets de ses modifications en Guyane. Doc. ORSTOM. GERDAT (CTFT). Multigr. 13 p.
- Ducrey M., Finkelstein D., 1983. Contribution à l'étude de l'interception des précipitations en forêt tropicale humide de Guyane. *In* « Le projet ECEREX ». Compte rendu des journées de Cayenne, 4-8 mars 1983, GERDAT-INRA-MUSEUM-ORSTOM, 305-326.
- Ducrey M., Guehl J.M., 1990. Fonctionnement hydrique de l'écosystème forestier. Flux et bilans au niveau du couvert et dans le sol. Influences du défrichement. *In* Sarrailh Ed., « Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais », INRA, 103-136.
- Ducrey M., Guehl J.M., Finkelstein D., 1983. Évolution comparée du microclimat sur une coupe rase, sous recrû naturel et sous forêt. Journées ECEREX, ORSTOM, 327-340.
- Foresta H. de, 1981. Premier temps de la régénération naturelle après exploitation papetière en forêt tropicale humide. Arbocel. Guyane française. Th. 3e cycle, Univ. Montpellier, Écologie terrestre, 124 p., 50 tab., 32 fig.
- Foresta H. de, 1983. Hétérogénéité de la végétation pionnière en forêt tropicale humide : exemple d'une coupe papetière en forêt guyanaise. *Acta col., col. Appl.*, 4, 221-235.
- Foresta H. de, Charles Dominique P., Énard Ch., Prévost M.F., 1984. Zoochorie et premiers stades de la régénération naturelle après coupe en forêt guyanaise. *Rev. Écol., Terre Vie*, 39, 369-400.
- Fritsch E., 1977. Organisation d'une toposéquence de sols sur schiste Bonidoro de Guyane française (piste de Saint-Élie). Étude morphologique. Rapport ORSTOM, Cote P. 174, 72 p.
- Fritsch E., 1979. Étude des organisations pédologiques et représentation cartographique détaillée de quatre bassins versants expérimentaux sur schiste Bonidoro de Guyane française (piste de Saint-Élie). Rapport ORSTOM, Cote P. 183, 30 p., 4 cartes (bassins A, C, E, F).

Fritsch J.M., 1980. Les bassins versants ECEREX. Premiers résultats de l'année 1979. ORSTOM Cayenne, 28 p. multigr.

Fritsch J.M., 1983. Évolution des écoulements et des transports solides à l'exutoire et de l'érosion sur les bassins versants d'un petit bassin après défrichement mécanisé de la forêt tropicale humide. In « Hydrology of humid tropical region » (Symp. Hambourg, août 1983). Publ. AISH, 140, 197-214.

Fritsch J.M., 1990. Hydrologie et érosion de l'écosystème forestier guyanais. B : Étude des modifications du comportement hydrologique et de l'érosion après défrichement et aménagement agro-forestier des bassins versants expérimentaux. In Sarrailh E., « Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais », INRA, 65-86.

Fritsch J.M., 1992. Les effets du défrichement de la forêt amazonienne et de la mise en culture sur l'hydrologie de petits bassins versants. Ed. Orstom, col. « Etudes et Thèses », 352 p.

Fritsch J.M. 1993. Hydrological effects of deforestation and alternative land uses : a french experiment in the amazonian rain forest. In « Environment and Forestry Management », Asian Productivity Organization, Tokyo, 1993, pp. 74-105

Fritsch J.M., 1994. The hydrological effects of clearing tropical rainforest and of the implementation of alternative land uses. Proceedings of IAHS Scientific Assembly, Yokohama, 13-15 July 1994, IAHS Publication No.216, pp.53-66.

Fritsch J.M., 1994. Les effets hydrologiques du déboisement de la forêt amazonienne et d'utilisations alternatives du sol. In : Colloque PEGI, ORSTOM-INSU, Grands Bassins Fluviaux, à paraître dans Col. ORSTOM « Colloques et Séminaires ».

Fritsch J.M., Sarrailh J.M., 1986. Les transports solides dans l'écosystème forestier tropical humide guyanais : effet du défrichement et de l'installation de pâturage. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXII, 2, 209-222.

Gély A., 1983 a. La polyculture vivrière en Guyane française. Th. 3e cycle. Univ. Paul Sabatier, Toulouse, 214 p.

GERDAT-ORSTOM-INRA-MUSEUM, 1985. Le projet ECEREX (Guyane). Analyse de l'écosystème forestier tropical humide et des modifications apportées par l'homme. Cayenne, 4-8 mars 1983. Doc. multigr. 417 p.

Guehl J.M., 1981. Étude *in situ* de la dynamique de l'eau dans le sol sous forêt primaire. Influence de la couverture pédologique sur quelques caractéristiques du drainage vertical. ECEREX, Bull. liaison ORSTOM Cayenne, 4, 52-60.

Guehl J.M., 1984 a. Dynamique de l'eau dans le sol en forêt tropicale humide guyanaise. Influence de la couverture pédologique. Ann. Sci. Forest., 41 (2), 195-236.

Guehl J.M., 1984 b. Utilisation des méthodes tensio-neutroniques pour l'étude des transferts hydriques dans le sol en milieu ferrallitique guyanais. Bull. Assoc. Fr. Étude Sol, 2, 35-48.

Guiraud A. Sarrailh J.M., 1980. Inventaire forestier réalisé sur les bassins de l'opération ECEREX. Rap. multigr. CTFT, Kourou, 33 p.

Humbel F.X., 1978. Caractérisation par des mesures physiques, hydriques et d'enracinement, des sols de Guyane française à dynamique de l'eau superficielle. Sci. Sol. Bull. A.F.E.S., 2, 83-93. Productivité des écosystèmes forestiers. Écologie et conservation. Actes Coll. Bruxelles, UNESCO, Paris, 1971.

- Kiffer E., Puig H., Kilbertus G., 1981. Biodégradation des feuilles d'*Eperua falcata* Aubl. en forêt tropicale humide (Guyane française). Rev. Écol. Biol. Sol, 18, 135-157.
- Kilbertus G., 1978. Microbiologie du sol en Guyane française. Doc. Univ. Nancy I, 53 p.
- Kilbertus G., Kiffer E. Mangenot F., Arnould M.F., 1980. Activités biologiques dans les sols tropicaux (Guyane française et République de Côte d'Ivoire). Décomposition des tissus lignifiés. Bois Forêts Trop., 190, 3-15.
- Kilbertus G., Mourey A., Schwartz R., Prevost M.F., 1980. Activités biologiques dans les sols tropicaux (Guyane française). I. Influence du déboisement sur la microflore tellurique, étude préliminaire. Bull. Acad. Soc. Iorr. Sci., 19, 117-130.
- Kilbertus G., Proth J., 1978. Différences microbiologiques et structurales entre trois sols de la Guyane française. Influence du couvert végétal. 103e Congr. Soc. Sav., Nancy, Sciences, I, 331-345.
- Kilbertus G., Rohr R., Schwartz R., 1982. Les pluviollessivats de la forêt tropicale humide (Guyane française). Variations saisonnières qualitatives et quantitatives des éléments figurés. Bull. Écol., 13, 283-292.
- Lescure J.P., 1981. La végétation et la flore dans la région de la piste de Saint-Élie, Guyane française. ECEREX, Bull. liaison ORSTOM Cayenne, 3, 4-24.
- Lescure J.P., Boulet R., 1985. Relationships between Soil and Vegetation in a Tropical Forest in French Guiana. Biotropica, 17 (2), 155-164.
- Lescure J.P., Puig H., Riéra B., Leclerc D., Beekman A., Beneteau A., 1983. La phytomasse épigée d'une forêt dense en Guyane française. Acta col., col. Gen., 4, 237-251.
- Lescure J.P., Puig H., Riéra B., Sabatier D., 1983. Une forêt primaire de Guyane française. Données botaniques. Journées ECEREX, 132-178.
- Maury G., 1979. Plantules et régénération forestières en Guyane française : premières constatations sur une coupe à blanc de 25 ha. Bull. Soc. Bot. Fr., 126, 165-171.
- Maury-Lechon G., 1982 a. Régénération forestière sur 25 ha de coupe papetière en forêt dense humide de Guyane française. C.R. Acad. Sci. Paris, 294, III, 975-978.
- Maury-Lechon G., 1983 b. Régénération forestière en Guyane française : recrû sur 25 ha de coupe papetière en forêt dense humide (Arbocel). Bois Forêts Trop., 197, 3-21.
- Maury-Lechon G., Betsch J.M., Betsch-Pinot M.C., 1986. Dynamiques comparées de la végétation et de la pédofaune dans un recrû en zone forestière tropicale (Guyane française). Mem. Mus. nat. Hist. nat., A, 132, 243-255.
- Maury-Lechon G., Poncy O., 1986 a. Dynamique forestière sur 6 ha de forêt dense humide de Guyane française, à partir de quelques espèces de forêt primaire et de cicatrisation. Mém. Mus. Hist. nat. Entretiens du Muséum, sér. A, Zool., 132, 211-242.
- Maury-Lechon G., Betsch J.M., Betsch-Pinot M.C., 1986 b. Dynamiques comparées de la végétation et de la pédofaune dans un recrû naturel en zone forestière tropicale (Guyane française). Mém. Mus. Hist. nat., Entretiens du Muséum, sér. A, Zool., 132, 243-255.

- Prévost M.F., Puig H., 1981. Accroissement diamétral des arbres en Guyane : observations sur quelques arbres de forêt primaire et de forêt secondaire. Bull. Mus. Hist. nat., Paris, sect. B, Adansonia, 2, 147-171.
- Prévost M.F., 1981. Mise en évidence de graines d'espèces pionnières dans le sol de la forêt primaire en Guyane. Turrialba, 31, 121-127.
- Prévost M.F., 1982 a. Comportement de *Cecropia obtusa* et de *Cecropia sciadophylla* dans les premiers stades de la régénération forestière, piste de Saint-Élie (Guyane). Bull. ECEREX, 5, 231-240.
- Prévost M.F., 1982 b. Importance des rejets dans les premiers stades de la régénération forestière après coupe ; piste de Saint-Élie (Guyane). Bull. ECEREX, 6, 241-264.
- Prévost M.F., 1983. Les fruits et les graines des espèces végétales pionnières de Guyane française. Rev. Écol., Terre Vie, 38, 121-141.
- Puig H., 1979. Production de litière en forêt guyanaise : résultats préliminaires. Bull. Soc. Hist. Nat. Toulouse, 115, 338-346.
- Puig H., 1981. Rythmes de floraison, de fructification et de défoliation d'*Eperua falcata Aubl.* en forêt guyanaise. C.R. 106e Congr. Nat. Soc. Sav., Perpignan, sér. scient., 2, 139-148.
- Puig H., Prévost M.F., 1986. Périodicité de l'accroissement chez quelques arbres de Guyane. Mém. Mus., sér. A, Zool., T 132, 159-171.
- Riéra B., 1983. À propos des chablis en forêt guyanaise, Piste de Saint-Élie. Mém. Mus., sér. A, Zool. T 132, 109-114.
- Riéra B., 1985. Importance des buttes de déracinement dans la régénération forestière en Guyane française. Rev. Écol., Terre Vie, 40, 321-329.
- Roche M.A., 1978. Objectifs et méthodologie d'étude comparative sur l'hydrologie et l'érosion des bassins versants expérimentaux. ECEREX. Bull. liaison DGRST, 1, 8 p., 2 fig.
- Roche M.A., 1980. Évapotranspiration réelle de la forêt amazonienne en Guyane, 9 p., 2 fig.
- Roche M.A., 1981. Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier tropical humide à ECEREX en Guyane. Mém. ORSTOM, 56 p.
- Roche M.A., 1982. Évapotranspiration réelle de la forêt amazonienne en Guyane. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., XIX, 1, 37-44.
- Roche M.A., 1982. Comportements hydrologiques comparés et érosion de l'écosystème forestier tropical humide à ECEREX en Guyane. 56 p. Cah. ORSTOM, sér. Hydrobiol., XIX, 2, 81-114.
- Roche M.A., 1990. Hydrologie et érosion de l'écosystème forestier guyanais. A : Étude du milieu naturel. In Sarrailh Ed., « Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais », INRA, 47-64.
- Sabatier D., 1983. Fructification et dissémination en forêt guyanaise. L'exemple de quelques espèces ligneuses. Th. 3e cycle, USTL, Montpellier, 238 p.
- Sabatier D., 1985. Saisonnalité et déterminisme du pic de fructification en forêt guyanaise. Rev. Écol., Terre Vie, 40, 289-320.

Sabatier D., Puig H., 1983. Phénologie et saisonnalité de la floraison et de la fructification en forêt dense guyanaise. Mém. Mus., sér. A, Zool., T 132, 173-184.

Sarrailh J.M., 1980. L'écosystème forestier guyanais. Étude écologique de son évolution sous l'effet des transformations en vue de sa mise en valeur. Bois Forêts Trop., 189, 31-36.

Sarrailh J.M., 1981. Parcelles élémentaires d'étude du ruissellement et de l'érosion. Analyse des résultats obtenus durant les deux premières campagnes de mesures. Bull. liaison ECEREX, 4, ORSTOM Guyane Ed., 45-51.

Sarrailh J.M., 1982. Premières observations sur les pâturages des parcelles de ruissellement et d'érosion. Bull. liaison ECEREX, 6, ORSTOM Guyane Ed., 7-18.

Sarrailh J.M., 1984. Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais. Opération ECEREX : résumé des premiers résultats. Bois Forêts Trop., 206, 13-32.

Sarrailh J.M., 1984. Étude de la régénération naturelle de la forêt guyanaise. Bilan : sept ans après l'exploitation papetière sur la parcelle expérimentale « Arbocel ».

Sarrailh J.M., 1985. Les parcelles élémentaires d'étude du ruissellement et de l'érosion. Programme ECEREX. Synthèse après quatre années d'étude. C.R. Journées ECEREX, mars 1983, ORSTOM Guyane Ed.

Sarrailh J.M., 1990. Editeur de « Mise en valeur de l'écosystème forestier guyanais », INRA, CTFT, 273 p.

Sarrailh J.M., Hueber R., 1980. Parcelles élémentaires Route de Saint-Élie. Premiers résultats après la campagne 1979. Rapp. multigr. CTFT Guyane, 15 p.

Sastre C., 1980. Fragilité des écosystèmes guyanais : quelques exemples. Andansoniana, sér. 2, 19, 435-449.

2 DEUXIEME PHASE : ECEREX SITE-ATELIER POUR LA RECHERCHE DE BASE

2.1 Montage institutionnel

En 1992 et 1993, suite à un appel d'offre du programme PEGI, thème : "*Bilans hydriques et transferts dans le cycle forestation-déforestation*", une proposition de recherche émanant du Laboratoire de Biogéochimie Isotopique, Université Pierre et Marie Curie, de l'INRA et de l'URA 196 du CNRS, intitulé "Bilans hydriques, énergétiques, chimiques et isotopiques à l'échelle parcellaire et à l'échelle du bassin versant : le cas des bassins ECEREX, Guyane" a été retenu. Thierry Bariac (CNRS) est le responsable scientifique du projet, qui comptet avec les participations suivantes :

Groupe "Hydrologie" :

- Ecole des Mines de Paris, P. Hubert, H. Molicova
- UNESCO (Division Hydrologique) M. Bonell, J. Balek

Groupe "Sol" :

- ORSTOM, M. Grimaldi (ORSTOM -Versailles), M. Sarrazin, J.C. Bron, R. Bron (ORSTOM - Cayenne).
- INRA - Département de Science du Sol - Montfavet : L. Bruckler, P. Bertuzzi, J.C. Gaudu, J. Horoyan, B. Bes

Groupe "Plante" et "Atmosphère" :

- INRA - Département de Bioclimatologie :
 - Villenave-d'Ornon : Y. Brunet, J.M. Bonnefond
 - Antilles-Guyane - Pointe- à-Pitre : R. Tournebize
- INRA - Département de Recherches Forestières :
 - Antilles-Guyane - Kourou : T. Barigah
 - Champenoux : A. Granier
- CTFT - CIRAD - Kourou : J.M. Sarrailh

Groupe "Géochimie de l'eau" :

- INRA - Département de Science du Sol :
 - Versailles : C. Grimaldi
- URA 196 CNRS, Géochimie et Métallogénie, J. Boulègue, F. Jung
- DRED, Biogéochimie Isotopique, T. Bariac, A. Millet, J. Gonzalez-Dunia

2.2 Objectifs et méthodologie

A l'échelle du bassin versant, la quantification du bilan hydrique nécessite la prise en compte des principaux flux constitutifs de ce bilan : pluie, ruissellement, infiltration, évapotranspiration. La connaissance de ces flux associe différentes méthodes qui correspondent aussi à différentes échelles :

- analyse globale des flux à l'exutoire (échelle du bassin versant)
- analyse locale sur des sites parcellaires.

De façon à appréhender ces deux approches complémentaires, une étroite collaboration entre différents organismes (ORSTOM, CTFT, CNRS, INRA, UPCM) devait permettre de réunir différents chercheurs spécialisés dans l'étude des bilans hydriques, énergétiques, chimiques et isotopiques à différentes échelles. Ultérieurement, il est prévu de transférer à un nouveau site (Cameroun ou Amazonie), l'expérience acquise lors de la première partie de ce programme.

La question des processus de formation des écoulements, autrement dit les *chemins de l'eau* est identifié comme un point fondamental pour la compréhension

des phénomènes hydrologiques et géochimiques. La décomposition de l'hydrogramme de crue en différentes composantes est classiquement effectuée par une méthode de graphique. Cette méthode est aussi robuste que conventionnelle, alors que la géochimie (hydrochimie, chimie isotopique) permet d'identifier véritablement les contributions respectives des différents réservoirs qui participent à la crue. A un instant donné, la composition isotopique de l'eau de la rivière, mesurée à l'exutoire d'un bassin versant, est imposée par le mélange d'eaux, d'origines et d'histoires différentes : les caractéristiques physiques, chimiques et isotopiques de l'eau à l'exutoire du bassin versant, dépendent donc des proportions du mélange.

Deux bassins versants ont été retenus comme objet d'étude dans le cadre du programme PEGI : le bassin B (témoin en forêt naturelle) et le bassin A (prairie pâturée), avec pour objectifs spécifiques :

- une mise au point méthodologique de la décomposition géochimique de l'hydrogramme de crue,
- l'étude de l'influence de la déforestation sur les bilans géochimiques.

Le plan d'expérimentation prévoyait :

- En saison humide :
l'analyse intégrée des flux à l'exutoire (décomposition de l'hydrogramme de crue à partir des bilans hydriques, chimiques et isotopiques).
- En saison sèche :
l'analyse stationnelle des mouvements de l'eau, dans le sol, la plante et l'atmosphère (sur parcelles expérimentales).

2.3 Campagnes de terrain réalisées en 1992 et 1993

Il s'agit de périodes d'observation de courtes durées (quelques jours), correspondant à des campagnes de mesures intensives, diversifiées et complémentaires. Les mesures suivantes ont été réalisées :

Période du 12 au 23 janvier 1992

- Variabilité spatio-temporelle de l'humidité pondérale, de la composition isotopique de l'eau dans le sol (14 niveaux de prélèvements, 7 stations tensiométriques et neutroniques)
- Variabilité spatiale de l'humidité pondérale et de la composition isotopique de l'eau dans le sol (transect de 80 m perpendiculaire au thalweg, analyse géostatistique sur un carottage de 2 m en 2 m, selon 6 profils de prélèvements).
- Variabilité spatio-temporelle de la hauteur d'eau précipitée et de la composition isotopique des pluies (18 pluviomètres par bassin versant).

Période du 22 mai au 2 juin 1992.

Avant la crue,

- Variabilité spatio-temporelle de l'humidité pondérale et de la composition isotopique de l'eau dans le sol (14 niveaux de prélèvements 0-1,20m, 7 stations tensiométriques et neutroniques).
- Variabilité spatio-temporelle de la lame d'eau précipitée et de la composition isotopique de la pluie (31 pluviomètres sur le bassin B, 8 pluviomètres sur le bassin A).

Pendant la crue,

- Variabilité spatio-temporelle de la hauteur d'eau précipitée et des compositions isotopique et chimique de la pluie toutes les 15 minutes. Une attention toute particulière a été accordée à l'étude de l'effet (isotopique) de masse dans les précipitations : l'eau d'un pluviomètre a été prélevée toutes les 5 minutes, tandis que l'eau d'un deuxième pluviomètre, placé à côté du premier, a été prélevée tous les 2 mm.
- Variabilité temporelle des compositions chimique et isotopique de l'eau de la crue échantillonnée à l'exutoire des bassins versants A et B, suivant un pas de temps variable (5 à 15 minutes). Evolution géochimique des solutions de sol recueillies à partir des drains installés dans les fosses pédologiques (bassin B). Suivi de la tensiométrie.

Après la crue,

- Variabilité spatio-temporelle de l'humidité pondérale et de la composition isotopique de l'eau dans le sol

Période du 24 septembre au 14 octobre 1992

- Détermination de l'ETR sur les bassins versants par différentes méthodes (fluctuations turbulentes, rapport de Bowen, flux de sève, chambre à transpiration, bilan hydrique dans le sol).
- Variabilité spatio-temporelle de l'humidité pondérale et de la composition isotopique de l'eau dans le sol (14 niveaux de prélèvements, 7 stations tensiométriques et neutroniques).
- Variabilité spatiale de l'humidité pondérale et de la composition isotopique de l'eau dans le sol (transect de 80 m perpendiculaire au thalweg, analyse géostatistique sur un carottage de 2 m en 2 m, suivant 6 profils de prélèvements dans le sol).
- Evolution de la composition isotopique de l'eau dans le continuum sol-plante-atmosphère : détermination de la zone de pompage racinaire dans le sol.

Période du 7 au 25 mai 1993

Les protocoles utilisés en 1992 ont été reconduits, avec quelques améliorations :

- l'eau était prélevée en trois points le long du thalweg de façon à pouvoir identifier l'existence éventuelle de "provinces géochimiques" dans le profil longitudinal ainsi réalisé (crue du 15 mai 1993).
- Différents dispositifs de prélèvement (bougies poreuses pour la chimie isotopique et micropiézomètres pour l'hydrochimie) sont venus compléter les installations précédentes.
- Le dispositif tensiométrique a été complété par l'adjonction de 7 nouvelles stations de façon à pouvoir suivre l'évolution du potentiel hydrique dans le sol simultanément sur les deux versants de chacun des deux bassins. La veille de la crue, des échantillons de sol ont été prélevés à proximité des stations tensiométriques de façon à caractériser un état isotopique initial de l'eau dans le sol.

2.4 Résultats et discussions.

2.4.1 L'état initial isotopique de l'eau dans le sol.

Quelle que soit la nature de la végétation (forêt ou graminées), le sol ne subit pas d'évaporation en raison de l'indice foliaire élevé des couvertures végétales. Par

exemple, en pleine saison sèche (septembre 1992), le rayonnement net mesuré au-dessus du sol sous forêt ne dépasse par 20 W.m^{-2} .

Sur le bassin versant A, on constate que les différents profils de teneurs en oxygène 18 correspondant aux parties supérieure, moyenne et basse du versant, présentent une évolution similaire, avec un gradient négatif des teneurs en oxygène 18 jusqu'à 60 cm de profondeur (niveau d'argile rouge). Au-delà, ce gradient s'inverse. L'absorption racinaire et les remontées capillaires n'induisent donc pas de discrimination isotopique. En l'absence d'évaporation du sol, on doit donc considérer ces résultats comme représentatifs d'une succession d'épisodes de précipitation infiltrées dans le sol. Les compositions isotopiques de ces pluies sont différentes et plus ou moins ré-homogénéisées par le processus de transfert dans le sol (infiltration rapide de l'eau dans les horizons supérieurs, infiltration plus lente dans les horizons profonds).

Sur le bassin versant B les mêmes profils correspondant respectivement aux parties haute, moyenne et basse du versant, présentent une évolution similaire, comparable à celle des profils observés sur le bassin versant A. Ces profils peuvent donc être interprétés d'une manière analogue (infiltration plus ou moins rapide accompagnée d'un mélange plus ou moins complet). Le profil correspondant à la partie la plus en amont du bassin B présente une bonne homogénéisation des teneurs en oxygène 18. Cela est dû à sa situation dans une zone de sol caractérisée par un drainage vertical libre.

2.4.2 Les précipitations.

La hauteur totale précipitée est de 57 mm sur le bassin versant A et de 53,5 mm sur le bassin B (24 mai 1992). La différence entre ces deux valeurs représente une perte de 6 % due à l'interception de la pluie par la canopée. L'évaporation d'une partie de la pluie interceptée par le couvert végétal n'entraîne pas de modification isotopique importante de l'eau résiduelle sur les feuilles en raison de l'évaporation de cette pluie interceptée dans une atmosphère à humidité relative élevée (supérieure systématiquement à 90%).

Sur le bassin B, les 31 pluviomètres sont répartis aléatoirement sur une centaine de mètres le long d'une ligne parallèle au thalweg de façon à pouvoir étudier l'éventualité d'une organisation de la pluie au sol en forêt tropicale, à l'échelle décimétrique et comparer ce résultat à celui obtenu sur un bassin versant ouvert (bassin A).

Les données obtenus sur le bassin A permettent de calculer un variogramme d'allure parabolique. Mais le variogramme calculé à partir des valeurs cumulées sur le bassin B montre l'existence d'un effet de pépite pur : les hauteurs de pluie mesurées au sol sous forêt sont donc à considérer comme des valeurs décorrélatées sans organisation spatiale. Deux phénomènes se superposent :

- le caractère continu de la pluie qui arrive au sol, en l'absence d'interception (allure parabolique du variogramme). Ceci permet de caractériser le phénomène au-dessus de la canopée.
- le caractère très irrégulier de l'interception en raison de l'hétérogénéité du milieu (variogramme plat). L'enregistrement au sol sous la forêt est donc le reflet d'une structure régulière modifiée de façon chaotique par l'interception. Les variogrammes relatifs à la teneur en oxygène 18 n'évoquent pas l'existence d'une structure spatiale et confirment l'indépendance des postes pluviométriques. Les prélèvements intensifiés de l'expérimentation du 15 mai 1993 mettent en évidence l'existence d'un effet de masse identique dans le cas

de pluviomètres installés sous et hors forêt et prélevés avec des pas de temps différents (5 à 15 minutes). Nous chercherons ultérieurement à étudier sur le plan théorique, la possibilité de caractériser la composition isotopique de la pluie à l'échelle de l'averse à partir de ce type de relation. Cette étude devra être impérativement effectuée en étroite concertation avec le LMCE (J. Jouzel, CEA, Saclay).

2.4.3 Les crues.

Le profil longitudinal réalisé à partir des différentes stations du thalweg montre que la variabilité spatiale enregistrée dans la composition isotopique des précipitations et de l'eau dans le sol n'a pas d'influence sur l'évolution de la composition isotopique de l'eau du cours d'eau. Seule la variabilité temporelle de la signature isotopique de l'eau de ces compartiments provoque l'évolution isotopique de l'eau du cours d'eau.

La représentation de la composition isotopique de l'eau des différents compartiments (pluie, sol et exutoire) dans un diagramme d2H-d18O met en évidence l'absence de droites d'évaporation (sol) ou de mélange (exutoire). L'ensemble des points se répartit suivant la droite locale des eaux météoriques. Ceci démontre que l'eau, qui arrive à l'exutoire, ne présente qu'un marquage isotopique lié à la condensation dans les nuages. La pluie de l'événement étudié ne fait que déplacer dans le sol des eaux de pluie issue d'épisodes plus anciens. Ceci est confirmé par les mesures bioclimatiques : par exemple, sous forêt, le sol ne reçoit que 20 W/m² au lieu des 650 W/m² mesurés en clairière.

Les diagrammes "traceur chimique profond (Na, Cl) - traceur isotopique" démontrent l'existence d'une relation d'hystérésis entre ces deux familles de traceurs :

- la branche descendante de cette relation (montée de crue) est imposée par l'appauvrissement isotopique lié à l'effet de masse dans les précipitations,
- la branche ascendante (décrue et tarissement) est créée par l'arrêt de la pluie et l'arrivée à l'exutoire d'eau profondes plus concentrées en Cl et en Na. Cette hystérésis disparaît dans le cas de diagramme "traceur chimique de surface (K) - traceur isotopique" : la relation observée est imposée par l'appauvrissement isotopique lié à l'effet de masse dans les précipitations. L'arrivée, à l'exutoire d'eau profondes peu chargées en K, ne modifie plus cette relation.

Afin de pouvoir déterminer la contribution respective des compartiments du sol (écoulement hypodermique, zone intermédiaire du sol, au-dessus du niveau d'argile rouge, zone profonde du sol) susceptibles d'alimenter la crue, nous avons utilisé :

- les teneurs moyennes en oxygène 18 des précipitations, après avoir regroupé les épisodes successifs de faible intensité;
- les teneurs moyennes en oxygène 18 de l'eau dans le sol, après avoir regroupé les horizons successifs à teneurs isotopiques voisines.

Si l'on suppose que l'eau de l'exutoire est formée d'un mélange d'eau venant de deux réservoirs différents, une eau ancienne issue du sol antérieure à l'événement pluviométrique et une eau nouvelle liée à la pluie et au ruissellement superficiel, il est possible de déterminer la contribution des eaux ancienne et nouvelle à la crue à partir des teneurs en oxygène 18 de l'eau de la crue, de la pluie et des différents horizons saturés du sol.

Il est également possible de séparer les différents compartiments (pluie, écoulement hypodermique, zones intermédiaire et profonde du sol) à partir de la

composition chimique de l'eau prélevée dans le sol à différentes profondeurs (K, traceur des eaux de surface, Na et Cl, traceurs des eaux profondes).

La combinaison de ces deux décompositions (compartiments du sol emboîtés et informations redondantes entre la chimie isotopique et l'hydrochimie, conservation de la masse) permet également d'identifier les contributions des différentes couches du sol. Cette décomposition met en évidence le rôle joué par les zones intermédiaires du sol, au-dessus du niveau d'argile rouge, dans l'alimentation en eau de la crue.

2.5 Conclusions

Les travaux menés au cours de cette première expérimentation ont montré que les teneurs en ^{18}O et en 2H des pluies évoluaient fortement dans le temps, mais peu dans l'espace, en raison de la faible superficie des bassins versants étudiés. Cette variabilité temporelle impose de ne pas utiliser une teneur isotopique moyenne lors du calcul de la contribution du pôle "eau nouvelle" à l'exutoire du bassin versant. La présence d'un couvert forestier introduit un effet chaotique dans la structure régulière observée dans les précipitations du bassin planté en graminées.

L'étude des crues met en évidence le comportement différent des deux bassins :

- un volume d'eau écoulé à l'exutoire et un pic de crue plus important sur le bassin planté en graminées. Le rapport du volume écoulé aux précipitations est supérieur (41% pour le bassin en graminées contre 28% pour le bassin en forêt primaire).
- la participation de l'eau issue de la zone intermédiaire, au pic de la crue est nettement plus forte sur le bassin en graminées que sur le bassin en forêt primaire.

Ces différences peuvent s'expliquer par l'action de la végétation. En effet, le défrichement augmente le stock d'eau dans le sol et le volume des précipitations reçues sur le bassin s'accroît par la suppression des pertes dues à l'interception du feuillage.

Au cours d'une nouvelle expérimentation, l'étude du compartiment sol sera renforcée dans le but de mieux identifier les couches de sol susceptibles d'être mobilisées au cours de la crue.

2.6 Bibliographie

Bariac, T., Millet, A., Ladouche, B., Mathieu, R., Grimaldi C., Grimaldi M., Sarrazin, M., Hubert, P., Molicova, H., Bruckler, L., Bertuzzi P., Gaudu, J. C., Horoyan, J., Bes B., Boulègue, J., Jung, F., Bonell, M., Balek, J., Brunet, Y., Tournebize, R., et Granier, A. (1994).- Décomposition géochimique des hydrogrammes de crue : les bassins versants de la Piste Saint-Elie, Guyane. A paraître dans "Colloques et Séminaires de l'ORSTOM".

Bariac, T. (1993).- Hydrogrammes de crue et Géochimie. Colloque "Grands Bassins Fluviaux", organisé par le CNRS, l'INSU et l'ORSTOM, Paris, 22-24 novembre 1993.

Bariac, T., Millet, A., Gonzalez-Dunia, J., Grimaldi C., Grimaldi M., Sarrazin, M., Hubert, P., Molicova, H., Bruckler, L., Bertuzzi P., Gaudu, J. C., Horoyan, J., Bes, B., Boulègue, J., Jung, F., Brunet, Y. et Bonnefond, J.J. (1993).- Hydrogeochemical balances of small forested and unforestred amazonian catchments. Colloque "European Geophysical Society", XVIII General Assembly, Wiesbaden, 3-7 mai 1993.

Bariac, T. (1994).- Méthodologie géochimique et décomposition des hydrogrammes de crue : la variabilité spatio-temporelle des signatures isotopiques. Séminaire "Les bassins versants de l'INRA" organisé par l'INRA, Thonon-les-Bains, 8-9 février 1994.

Bariac, T., Millet, A., Ladouche, B., Mathieu, R., Grimaldi C., Grimaldi M., Sarrazin, M., Hubert, P., Mollicova, H., Bruckler, L., Bertuzzi P., Gaudu, J. C., Horoyan, J., Bes, B., Boulègue, J., Jung, F., Bonell, M., Balek, J., Brunet, Y., Tournebize, R., et Granier, A. (1994). Décomposition géochimique des hydrogrammes de crue : les bassins versants de la Piste Saint-Elie, Guyane. Colloque "European Geophysical Society", XVIX General Assembly, Grenoble, 25-29 avril 1994 (présentation d'un poster).

Bariac, T. (1994).- Décomposition géochimique des hydrogrammes de crue : les bassins versants de la Piste Saint-Elie (Guyane). Colloque "15^{ième} réunion des Sciences de la Terre", Nancy, 26-28 avril 1994.

Millet A. - Bilans hydriques et isotopiques à l'échelle du bassin versant : le cas des crues des bassins versants guyanais. Bourse MESR. Soutenance prévue décembre 1995.

Millet A. (1992) - L'hydrogramme de crue et le bilan isotopique (^{18}O) de l'eau : le cas des bassins versants "ECEREX" (Piste de Saint-Elie, Sinnamary, Guyane). DEA de Géochimie Fondamentale et Appliquée, Université de Paris VII, 24 pp.

Ladouche B. (1993) - Décomposition isotopique (^{18}O , 2H) de l'hydrogramme de crue le cas des bassins versants "ECEREX" (Piste de Saint-Elie, Sinnamary, Guyane). DEA d'Hydrologie, Université Pierre et Marie Curie, 30 pp.

3 CONCLUSION ET RECOMMANDATION : POUR UN SITE ATELIER EN FORET TROPICALE FRANÇAISE

Le très important dispositif d'observation hydrologique mis en place en Guyane française en 1977 répondait à des objectifs finalisés d'accompagnement du *Plan Vert*. Ce *Plan Vert* ne s'est jamais concrétisé dans les faits, et les manipulations environnementales faites à ECEREX n'ont jamais été réalisées en vraie grandeur ... en Guyane française. Le programme de recherche associé à ce dispositif aura toutefois permis d'accroître de manière considérable la connaissance de l'écosystème forestier amazonien dans ses différents compartiments, biosphère, hydrosphère et géosphère, et de quantifier les impacts d'un certain nombre de manipulations destructives et/ou « développantes ». La liste bibliographique (1.5) donne la mesure de l'effort de recherche consenti et du retour en terme de connaissance et de valorisation.

La pluridisciplinarité effective des équipes travaillant sur ce terrain, principalement celles dont les membres résidaient en permanence en Guyane mérite d'être soulignée. Sans elle un grand nombre d'acquis n'auraient pas pu être consolidés, principalement en ce qui concerne les interactions entre sols et eaux.

Toutefois, la taille et le nombre des bassins font d'ECEREX un dispositif bien spécifique, avec des conditions d'exploitation et de maintenance difficiles et coûteuses, dont la totale pérennité, éminemment souhaitable, était difficilement réalisable dans une perspective routinière des organismes de recherche concernés présents en Guyane (ORSTOM, CTFT).

Cette pérennité n'a d'ailleurs pas pu être assurée pour la totalité des installations après 1990, mais 2 ou 3 bassins versants ont été réhabilités pour des périodes limitées en 1992 et 1993 dans le cadre des programmes PEGI.

De dispositif pérenne, qui n'avait son sens qu'à partir du moment où un suivi opérationnel permanent était assuré, ECEREX préfigure aujourd'hui une zone-atelier, destinée à être utilisée au coup-par-coup par des équipes fortes, explorant des problématiques susceptibles d'être résolues par des opération « coup-de-poing ».

La nécessité d'une zone atelier de recherche sur l'environnement en forêt équatoriale pour la recherche française, mais aussi européenne et américaine ne fait aucun doute. A bien des égards, la Guyane française présente des conditions très favorables à un tel projet. On doit même constater que ces conditions ne cessent de s'améliorer (progrès des télécommunications, amélioration transports aériens, en fréquence et en coûts, et malheureusement péjoration des conditions politiques dans beaucoup de pays équatoriaux...)

La question qui est aujourd'hui posée au reprenneur du patrimoine du CST-BVRE, en l'occurrence le GIP *Hydrosystèmes* est bien :

« Faut-il pérenniser ECEREX ou faut-il choisir un autre site en Guyane française ? ».

Ce n'est qu'après avoir fait l'état des lieux et avoir défini les problématiques les plus structurantes du futur site atelier que l'on pourra répondre à cette question.