

**ETUDE DU TRANSPORT SOLIDE
DU BRAS DAVID**

-- * * * --

par

Marc Morell, Patrick Danard, et François Dugas



Préface :

Dans le cadre du projet d'implantation d'une retenue de 2.5 millions de m³ à la cote 140 m, l'étude du transport solide de la rivière Bras David a été réalisée à la demande du Conseil Général de la Guadeloupe assisté de la Direction de l'Agriculture et de la Forêt.

La première phase de l'étude, démarrée en avril 1989, a été exécutée sous la conduite de François Dugas à l'occasion de missions effectuées depuis le territoire de la République Centre Africaine où il disparut tragiquement en décembre 1989. Nous dédions ces travaux à sa mémoire.

Ont collaboré à l'étude Maurice Guilliod, Patrick Martine et Eric Plantier.

Marc Morell

1 LE BASSIN VERSANT DU BRAS DAVID

1.1 Situation

Le bassin versant du Bras David, principal affluent de la Grande Rivière à Goyaves, est localisé sur la Côte-au-vent de la Basse-Terre, île volcanique dont la chaîne montagneuse est perpendiculaire aux alizés d'Est.

Il a une superficie de 33.5 km² à la cote 140, site présélectionné pour la construction d'une retenue d'eau de 2 millions de m³. Il est bordé par le morne Merwart (1153 m), le Piton de Bouillante (1088 m), les Pitons des Mamelles (768, 716 et 561 m) et de Grosse-Montagne (622 m).

1.2 Géomorphologie

La rivière du Bras David et principal affluent la rivière Corossol se forment à environ 1000 m d'altitude. Le cours supérieur du Bras David est orienté NNE, puis ENE. Ces deux directions majeures sont en relation avec un changement de substratum : au Sud la chaîne de Bouillante, au Nord la chaîne volcanique septentrionale plus ancienne. Ce changement d'orientation s'observe également pour la Lézarde et correspond à des directions structurales.

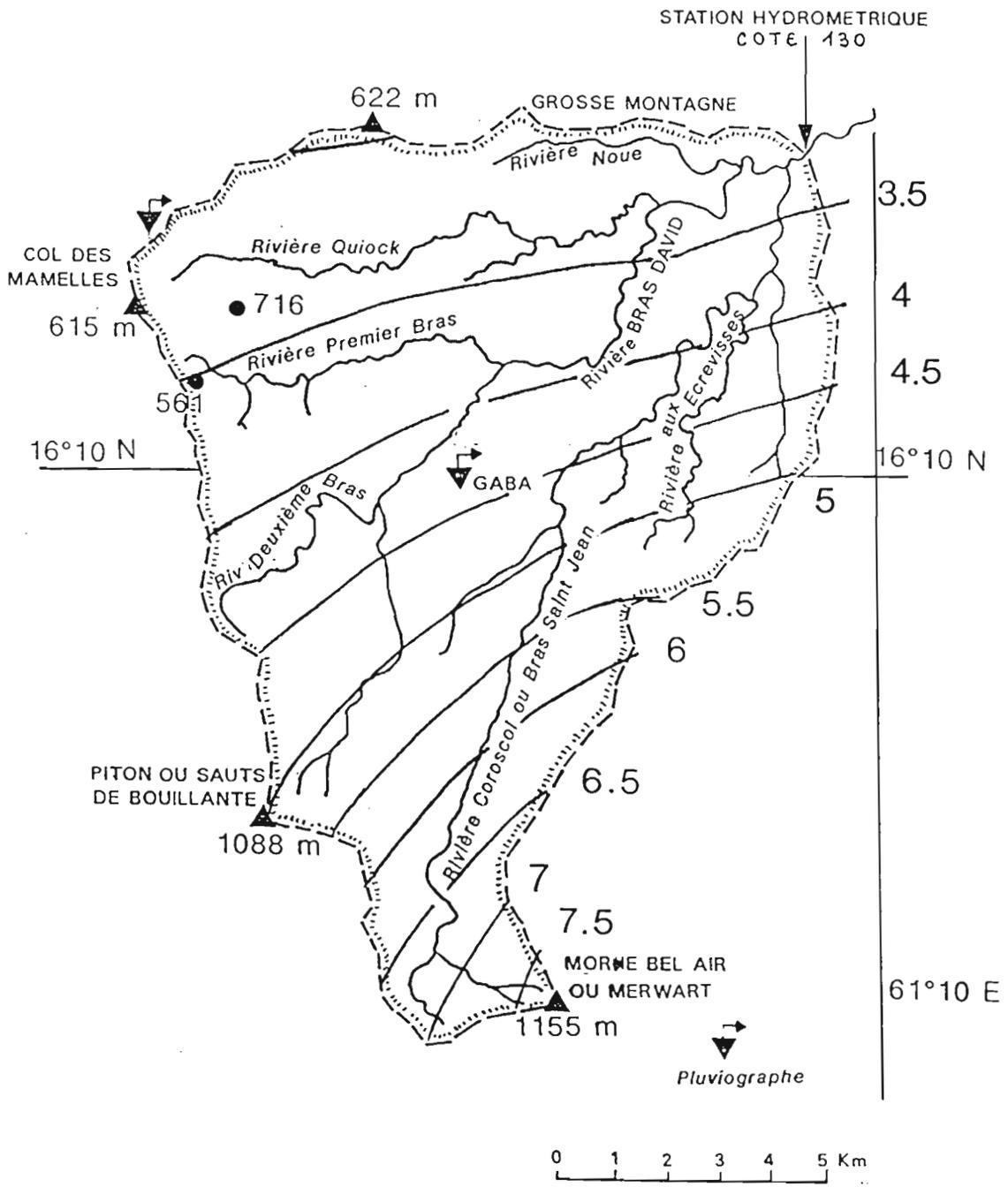
Le cours de la rivière du Bras David a une longueur totale de 14.1 km. Son indice d'allongement, rapport de sa plus grande dimension (7.8 km) au diamètre d'un cercle de surface équivalente.

L'application du logiciel LAMONT développé par C. Depraetere (Laboratoire hydrologique de l'ORSTOM - 1991) au modèle numérique de terrain du Bras David (grille d'altitude au pas de 40 m) a permis de calculer automatiquement certaines caractéristiques topographiques (superficies drainées, pentes...) du bassin versant, maille par maille, et de traduire cette information discrétisée par une représentation cartographique (Cf. annexe).

La répartition des superficies selon les classes d'altitude et de pentes est donnée dans le tableau suivant :

Géomorphologie du bassin du Bras David à la cote 130
Exploitation du modèle numérique de terrain par LAMONT

Altitudes en mètres	S %	Pentes en degrés	S %
130 - 198	3.0	0 - 2	0.9
198 - 265	11.2	2 - 4	2.4
265 - 333	15.1	4 - 6	4.1
333 - 400	13.4	6 - 8	5.9
400 - 468	12.8	8 - 10	8.3
468 - 536	13.2	10 - 12	8.4
536 - 603	9.6	12 - 14	8.8
603 - 671	5.8	14 - 16	8.7
671 - 738	4.5	16 - 18	12.0
738 - 806	3.9	18 - 20	12.5
806 - 874	3.3	20 - 22	11.4
874 - 941	2.1	22 - 24	8.1
941 - 1009	1.3	24 - 26	5.1
1009 - 1076	0.7	26 - 28	3.2
1076 - 1144	0.1	28 - 30	0.2



Situation du bassin versant du Bras David

La pente générale des rivières Bras David et Corossol est de l'ordre de 7 %. Cependant, elle est plus élevée dans le cours supérieur du Bras David (15.3%) que dans celui de Corossol (9.2%). On observe l'inverse dans le cours inférieur avec 2.7% pour le Bras David et 4% pour Corossol.

On observe cependant des pentes de plus de 45° sur quelques hectares localisés sur le flanc des Mamelles.

Les vallées se limitent aux lits des rivières tandis que les versants sont formés de facettes de pente régulière. Cet étagement en facettes est l'expression morphologique d'un étagement simple des processus morphogéniques. Localement, quelques replats s'observent sur les interfluves à des altitudes de l'ordre de 500 m (Morne Cézanne, versant Sud du Morne Léger).

1.3 Climat

La Guadeloupe est soumise à un flux permanent d'alizés d'Est chauds et humides maintenant sur l'archipel une température généralement comprise entre 25 et 30 °C, et une humidité moyenne de 80 à 90 %.

On distingue deux saisons : le carême, saison relativement sèche de janvier à avril, et l'hivernage, saison des pluies de mai à décembre.

L'évapotranspiration annuelle est comprise entre 1400mm en Grande-Terre et 1100 mm sur les sommets de la Basse-Terre.

La pluviométrie moyenne annuelle sur le bassin est de l'ordre de 4 400 mm, comprise entre environ 3 300 mm à l'exutoire, et 8 000 mm à Merwart en année normale.

1.4 Géologie, sols et végétation

1.4.1 Géologie

La rivière du Bras David est le principal affluent de la Grande Rivière à Goyaves. Le Bras David et son principal affluent, la rivière Corossol (ou Bras Saint-Jean) prennent naissance dans l'ensemble Matéliane-Piton de Bouillante daté du Quaternaire, 1.25 à 0.6 millions d'années. Ce volcanisme est antérieur au volcanisme des Monts Caraïbe et à celui du massif Madeleine-Soufrière. L'ensemble Matéliane est constitué de brèches andésitiques, de coulées labradoriques, de lapilli, de ponces dacitiques et de coulées massives d'andésites.

Dans leur partie moyenne et inférieure, les rivières Bras David et Corossol, ainsi que leurs affluents (Deuxième Bras, Premier Bras, Quiock et Noué), coulent sur le complexe volcanique de la première chaîne septentrionale d'âge probable 3.5 à 1.15 millions d'années. Ce volcanisme constitue l'ossature de la chaîne montagneuse de la Basse-Terre et forme un gradin intermédiaire entre un complexe volcanique basal d'âge supposé 6 à 4 millions d'années situé au Nord-Ouest de l'île et le massif récent de la Madeleine-Soufrière qui se prolonge probablement sous la plaine alluviale du Nord-Est.

Le long de la rivière du Bras David, des dépôts d'alluvions anciennes s'étagent en formant d'étroites terrasses encaissées dans le relief du bassin versant de la rivière. Elles témoignent d'une érosion ancienne, de plus grande amplitude que l'actuelle, suivie d'un remblaiement de l'ancien lit. Le lit actuel est encaissé dans ces terrasses ; ceci indique une reprise actuelle de l'érosion. La modification du profil d'équilibre de la rivière est probablement due à un rajeunissement des pentes lié au soulèvement des substratums.

Les blocs de la terrasse, qui atteignent 2.5 mètres de diamètre, ont dans leur ensemble une granulométrie plus grossière que ceux du lit actuel de la rivière. Ces blocs, lorsqu'ils sont dans le lit actuel du Bras David ou de la rivière Corossol, sont rarement déplacés.

Les réseaux de failles et de fractures présentent les orientations NE-SW, NNW-SSE, NW-SE, N-S et NE-SW liées à deux phases tectoniques successives.

La dernière phase tectonique (N-S) est sans aucun doute accompagnée de basculements. En effet, la Grande Rivière à Goyaves de direction moyenne Nord-Sud ne reçoit presque aucun affluent de l'Est. Les rivières à l'Est de la Grande Rivière à Goyaves ont un écoulement dirigé vers le Nord-Est dans l'alignement des rivières Bras David, Bras de Sable etc...

Volcanisme et sismicité

La présence en Basse-Terre du volcan de la Soufrière, actif en particulier en 1696, 1797, 1809, 1837, 1956 et 1976, peut faire craindre des émissions volcaniques. Cependant, le type de ces émissions, et la distance la séparant du volcan, mettent à l'abri du danger le site de la retenue.

Les données de l'Observatoire Volcanologique font état d'une sismicité latente le long du cours de la Grande Rivière à Goyaves qui peut avoir une incidence sur les constructions prévues pour retenir les eaux du Bras David. En effet, on note le 11 mai 1967 une crise sismique de magnitude locale 3.7 dans la région de Sainte-Rose (Feuillard 1985), puis les 12 et 13 décembre 1988, le long de la Grande Rivière à Goyaves entre Castel de Lamentin et Vernou avec des magnitudes locales de 1.05 à 2.3 .

L'orientation N.S de l'essai de séismes laisse supposer l'existence d'une grande fracture dans le substratum qui guide le cours de la Grande Rivière à Goyaves.

1.4.2 Les sols

Les sols du bassin versant du Bras David sont dans l'ensemble érodibles en fonction de de leurs types, de leurs pentes, et de leurs couvertures végétales.

D'après la carte pédologique de la Guadeloupe (Colmet-Daage, 1970), les sols se répartissent ainsi :

a) peu évolués, dérivant de cendres et reposant sur des ponces graveleuses et des andésites. Ils sont très érodibles. On les observe dans la partie supérieure de Bras David et de Corossol où les pentes sont les plus fortes.

b) le reste des sols du bassin versant appartient à un ensemble de sols ferrallitiques friables (oxisols). Ils dérivent principalement de brèches andésitiques. Ce sont des sols épais riches en argiles : kaolinite plus ou moins désordonnée, halloysite, hydrosydes de fer individualisés (goethite) avec parfois un peu de gibbsite. Leur épaisseur est de quelques mètres au maximum (Cabidoche, 1989). On distingue par ordre d'importance :

- les sols très perméables avec blocs polyédriques que s'effritent sans donner d'agrégats durs de taille intermédiaire. L'argile abondante est essentiellement de l'halloysite. Les teneurs en base échangeables et la capacité d'échange des cations paraissent relativement élevés. Ils se subdivisent en sols de montagne totalement désaturés de couleur jaune-clair et en sols fortement désaturés en bases échangeables de couleur jaune-rouge. Ils dérivent de formations volcaniques anciennes. Ces sols bordent les rivières et constituent la surface de la terrasse d'alluvions anciennes.

- les sols semblables au type précédent, fortement désaturés en bases échangeables mais un peu moins perméables. Ils accumulent temporairement l'eau.

- les sols peu compacts brun-jaune en surface, plus rouges et friables en profondeur. Les blocs polyédriques se brisent aisément en fins agrégats (pseudo-sables). Le sol est bien perméable. Ils sont totalement désaturés en bases. Ce sont des sols de région humide.

Il faut ajouter un groupe qui n'apparaît sur les cartes qu'au niveau de la confluence entre la Grande Rivière à Goyaves et le Bras David, et qui s'observe sur les petites terrasses en amont de la confluence. Ce sont des alluvions anciennes déposées sous forme de coulées boueuses car les blocs sont relativement bien arrondis, pris dans une masse de particules argileuses fixée par la végétation. Ce sont :

- soit des sols sablo-limono-argileux (alluvions légères)
- soit des colluvions ou sols remaniés par des glissements le long des étroites vallées.

Ces sols sont constitués de sables (cendres), graviers, blocs abondants en lentilles avec des argiles de type kaolinite et montmorillonite. De couleur brun-foncé, ils sont bien pourvus en bases échangeables.

1.4.3 Végétation

Une vaste forêt humide occupe le bassin versant. Aux basses altitudes, c'est-à-dire jusqu'à 300 m, s'étend la forêt "mésophile" délimitée par une pluviométrie annuelle comprise entre 1800 et 3000 mm. Au-dessus de 300 m, c'est le domaine de la "forêt hygrophile", dense et humide, délimitée par une pluviométrie annuelle comprise entre 3000 et 6000 mm.

1.5 Les mécanismes du transport solide

La rivière du Bras David, cours d'eau au régime torrentiel, aux crues généralement de courte durée, fréquentes et présentant de forts débits de pointe, transporte des matières dissoutes ou en suspension, et des matériaux charriés.

Les matières dissoutes déterminent la qualité de l'eau et ont généralement peu d'influence sur la sédimentation des matières en suspension.

Les matières en suspension dispersées dans la masse d'eau sont d'origine minéralogique (limons, sables, ..) ou organique (débris végétaux...).

Les matériaux de granulométrie plus grossière sont charriés par saltation ou roulement sur le fond du lit (graviers, galets, et blocs rocheux) ou par flottage (arbres, branchages...).

Si l'on possède généralement, et c'est le cas du Bras David, une bonne connaissance des régimes hydrologiques des cours d'eau sur lesquels on désire étudier le transport solide, les méthodes de calcul des quantités de matériaux mis en mouvement et leur variabilité dans le temps conduisent à des estimations souvent très approximatives.

Le débit solide d'un cours d'eau à un instant donné est fonction du débit liquide, de la vitesse d'écoulement, du degré de turbulence, de la pente et des caractéristiques du lit, et de la taille des particules.

De façon très schématique, en un site donné d'un cours d'eau, il existe, pour un matériau de densité et de texture données, une vitesse minimale d'écoulement, fonction du diamètre moyen de la particule, qui permet le déplacement de celle-ci. Les faibles écoulements n'autoriseront que le transport des matériaux fins alors que les matériaux grossiers seront mis en mouvement par des écoulements plus forts.

La potentialité érosive du bassin versant conditionnera fortement la capacité du cours d'eau à transporter d'importantes quantités de matériaux. Le débit solide dépendra aussi, des conditions climatiques, du relief du bassin, de la nature de ses sols, et d'une façon générale de l'état d'occupation de ces derniers (nature du couvert végétal, travail du sol...).

Pour un bassin versant et un cours d'eau n'ayant subi aucune action anthropique, le profil de la rivière considéré est en équilibre sur quelques dizaines d'années, voire plusieurs siècles. Le volume des matériaux transporté est généralement négligeable à l'échelle du bassin. Sur ces durées, le lit du cours d'eau a un parcours, des sections en travers et un profil en long relativement stables.

L'implantation d'une retenue rompt cet équilibre en élevant notamment le niveau de base de l'érosion en amont du barrage.

2 CARACTERISTIQUES HYDROLOGIQUES

2.1 Régime pluviométrique

Les huit postes pluviométriques situés dans ou à proximité du bassin versant ne permettent pas d'établir une relation simple et globale pour l'ensemble du bassin entre la pluviométrie et l'altitude. Celle-ci, par ailleurs, devrait être modulée en fonction de l'exposition des sites aux vents dominants. Toutefois, le gradient pluviométrique peut globalement être estimé à 250 mm pour 100 m d'altitude avec des anomalies négatives ou positives selon l'orientation du versant par rapport aux advections d'Est ou de Nord-Est.

Le tableau suivant présente les caractéristiques des 7 postes pluviométriques de l'ORSTOM et du poste de Duclos (INRA) implantés sur le bassin versant ou à proximité.

Pluviométrie annuelle

Les pluviométries moyennes annuelles qui y sont associées ont été déterminées en exploitant les données acquises quand la durée d'observation dépasse 5 années, ou en se référant au tracé des courbes isohyètes quand la période d'observation était trop courte. L'incertitude relative sur ces valeurs n'est pas inférieure à 10 %.

Postes pluviographiques du bassin versant du Bras David

Poste	Altitude en m	Mise en service	Appareillage en 1990	Pluviométrie en mm
DUCLOS (INRA)	100	1954	Mécanique	2950
DAVID COTE 130	130	1989	OEDIPE	3500
MORNE LEGER	610	1979	OEDIPE	4000
QUIOCK	430	1989	OEDIPE	3500
PROVIDENCE	250	1989	OEDIPE	3800
GABA	490	1985	OEDIPE	4000
PITON DE BOUILLANTE	1090	1970	OEDIPE	4200
MERWART	1000	1986	OEDIPE	9000
<i>OEDIPE : Enregistreur électronique avec ou sans émetteur ARGOS</i>				

Une études comparative des modelés de versant en fonction des orientations permettrait d'étudier si les contrastes micro-climatiques qui ressortent de ces valeurs de pluviométrie sont justifiés par l'exposition des postes.

La quantité d'eau précipitée sur le bassin versant, correspondant à une lame d'eau moyenne d'environ 4 400 mm, est estimée à 145 millions de m³.

Pluviométrie mensuelle

La distribution saisonnière des précipitations se traduit par les valeurs mensuelles suivantes au poste INRA de Duclos, à la cote 100.

Pluviométrie mensuelle et annuelle en mm - Duclos

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total
157	107	145	184	280	233	260	328	342	383	309	216	2944

Pluviométrie journalière

La distribution des pluies journalières ponctuelles (Chaperon P., 1985) fait ressortir, pour le poste de Duclos, les valeurs suivantes pour différentes récurrences :

Pluviométrie journalière ponctuelle à Duclos
pour différentes période de retour

Période de retour ans	2	10	20	100
Pluie journalière mm	120	220	260	370

Intensités

Concernant les intensités de précipitations sur de faibles pas de temps, on peut se référer aux données du Raizet :

Intensités de précipitations au poste du Raizet

P ret.	Intensité en mm/h				Hauteur d'eau en mm				
	6 mn	15 mn	30 mn	1 h	2 h	3 h	6 h	RAIZET 24 h	DUCLOS 24 h
2 ans	130	92	69	44	56	60	72	100	120
	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 ans	132	94	69	44	56	-	-	-	-
	161	119	95	63	70	87	102	156	-
10 ans	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	178	125	93	61	78	-	-	-	-
20 ans	173	128	108	71	90	99	120	183	220
	-	132	100	63	84	-	126	-	-
50 ans	198	138	104	68	88	-	-	-	-
	187	139	122	81	102	114	132	212	260
100 ans	-	148	114	69	96	-	144	-	-
	208	154	140	94	118	132	150	253	-
100 ans	-	176	134	80	114	-	168	-	-
	229	168	156	104	132	147	168	287	370
	-	192	148	87	126	-	186	-	-

Les écarts entre les valeurs de pluviométrie journalière de Duclos et celles du Raizet varient de 20% pour les faibles périodes de retour (1 à 10 ans) à 30 % pour 100 ans.

L'étude des régimes pluviographiques a montré (D. Rossignol, 1990) que les écarts entre les intensités pluviométriques maximales annuelles des postes de plaine et celles des postes d'altitude étaient d'autant plus faibles que le pas de temps considéré était plus court.

Cela signifie que pour des durées de l'ordre d'une à deux heures (le temps de concentration du bassin est d'environ 100 minutes), les données ponctuelles d'intensité sur le bassin du Bras David ne peuvent être que très légèrement supérieures à celles déterminées au Raizet.

2.2 Régime hydrologique

2.2.1 Données de base

Les débits instantanés ont été déterminés par traduction des hauteurs d'eau relevées aux limnigraphes de type OTT X des deux stations suivantes :

Station	Période d'observation	Nombre d'années complètes	Superficie du bassin versant (km ²)	altitude (m)	débit moyen annuel (m ³ /s)
Duclos	03/1973-08/1987	13	37.5	110	3.50
Cote 130	04/1982-1990	8	33.2	130	3.30

La station de la cote 130, située en rive droite juste en amont du seuil, est en service actuellement. Le barème d'étalonnage débit = f(cote) déterminé par jaugeages, est le suivant :

Barème d'étalonnage du Bras David à la cote 130

Hauteur (cm)	10	20	50	100	150	200	250	300
Débit (m ³ /s)	0.65	2.46	13.9	50	120	220	350	540

Le rapport 0.89 des superficies des deux bassins versants du Bras David à la cote 130 par rapport à celui de Duclos comparé au rapport 0.94 de leurs modules interannuels, souligne que l'essentiel des apports en période de crue se fait en amont de la cote 130. Les valeurs de Duclos, bien que légèrement supérieures, seront utilisées de 1974 à 1982 sans correction pour la reconstitution du transport en suspension, cette approximation allant dans le sens de la sécurité.

2.2.2 Débits moyens mensuels

Le module interannuel d'écoulement à la station de la cote 130, établi sur la période de fonctionnement d'avril 1982 à décembre 1990, a été estimé à 3.30 m³/s, pour une distribution mensuelle donnée ci-dessous :

Débits moyens mensuels en m³/s à la cote 130 et coefficients d'hydraulicité - Période 1982-1990

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2.95	2.05	1.99	2.00	3.10	3.00	3.20	3.68	4.79	4.14	5.32	3.29
0.92	0.64	0.62	0.63	0.97	0.94	1.00	1.15	1.5	1.3	1.66	1.03

première ligne : débits moyens mensuels calculés

deuxième ligne : rapport du débit moyen mensuel au module interannuel

La distribution mensuelle des débits naturels à Duclos sur la période 1951-1980, avant que ne soit mis en service le prélèvement d'eau en amont de la station, a pu être déterminée à partir des données recueillies et par reconstitution à partir des stations de Prise d'Eau et de la Traversée sur la Grande Rivière à Goyaves.

Les régressions utilisées sont : $Q_{\text{Duclos}} = 0.71 Q_{\text{Prise}} - 0.01$ de janvier 1951 à mars 1973, en août 1973, en septembre et octobre 1979, et $Q_{\text{Duclos}} = 2.48 Q_{\text{Traversée}} + 0.15$ en août 1979. Le module interannuel est de 3.40 m³/s.

Débits moyens mensuels en m³/s à Duclos
et coefficients d'hydraulicité - Période 1951-1980

J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
2.91	2.35	2.04	2.30	3.36	3.66	3.99	4.28	3.99	4.13	4.23	3.66
0.86	0.69	0.60	0.68	0.99	1.08	1.17	1.26	1.17	1.21	1.24	1.08

première ligne : débits moyens mensuels calculés

deuxième ligne : rapport du débit moyen mensuel au module interannuel (coefficient d'hydraulicité)

Un autre travail a consisté à reconstituer les débits mensuels de 1951 à 1990 à la cote 130 :

- de 1951 à 1980 : données reconstituées à partir de Duclos
- de 1980 à 1990 : données observées à la cote 130

Les lacunes journalières à la cote 130 ont été reconstituées par le modèle CREC (F.PLociniczak, 1991) permettant ainsi d'estimer les débits mensuels.

L'ajustement des lois statistiques habituelles aux débits mensuels, observés ou reconstitués par corrélation, conduit aux résultats suivants pour différentes périodes de retour T, des années déficitaires aux années excédentaires :

Débits mensuels et modules annuels de période de retour T
et coefficient d'irrégularité K3

T ans	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Module
Loi	Gb	Gt	Gt	Gb	Gb	P3	Ft	Gb	Lf	Gr	Gt	Gt	Gr
100	0.83	0.75	0.41	0.22	0.41	0.96	1.03	1.62	0.92	1.52	1.09	1.21	1.60
50	0.98	0.81	0.49	0.37	0.62	1.07	1.24	1.78	1.15	1.60	1.25	1.31	1.77
20	1.22	0.93	0.63	0.63	0.98	1.29	1.60	2.06	1.53	1.79	1.55	1.50	2.04
10	1.46	1.06	0.79	0.89	1.33	1.54	1.95	2.34	1.92	2.03	1.87	1.72	2.29
5	1.78	1.27	1.02	1.23	1.80	1.94	2.42	2.71	2.43	2.44	2.36	2.05	2.61
2	2.55	1.90	1.66	2.05	2.92	3.00	3.45	3.59	3.61	3.56	3.68	2.98	3.22
5	3.57	3.02	2.66	3.14	4.43	4.53	4.67	4.77	5.01	5.10	5.76	4.52	3.80
10	4.26	3.91	3.39	3.87	5.43	5.54	5.38	5.55	5.83	6.05	7.29	5.70	4.09
20	4.91	4.88	4.14	4.56	6.38	6.49	6.00	6.30	6.55	6.90	8.85	6.94	4.31
50	5.75	6.30	5.17	5.47	7.62	7.68	6.74	7.28	7.41	7.91	11.0	8.69	4.56
100	6.39	7.49	6.00	6.14	8.55	8.55	7.26	8.00	8.02	8.62	12.8	10.1	4.72
K3	2.9	3.7	4.3	4.4	4.1	3.6	2.8	2.4	3.0	3.0	3.9	3.3	1.8

Gr : Goodrich Gb : Gumbel Galton : Gt
P3 : Pearson III Ft : loi des fuites

Le module médian est estimé à 3.22 m³/s, pour un coefficient d'irrégularité égal à 1.8, valeur relativement forte en Basse-Terre. rapporté à une pluviométrie moyenne sur le bassin de 4.4 m, le coefficient d'écoulement serait d'environ 70 %, valeur très élevée justifiée par l'état de saturation quasi-permanent des sols du bassin.

Au niveau mensuel, la plus forte irrégularité interannuelle (K3 supérieur à 4) apparaît au cours des mois de transition entre les saisons : mars, avril, mai dont les importants déficits pluviométriques marquent le prolongement de la saison sèche, ou, au contraire, les forts excédents annonçant le retour précoce de la saison pluvieuse.

Débits moyens mensuels du Bras David à la cote 130

Année	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
1951	2.62	3.58	1.94	3.55	5.51	3.62	6.35	2.80	4.15	6.03	4.56	4.56
1952	3.66	4.58	1.34	3.79	2.10	2.08	4.89	5.77	4.82	1.87	2.73	1.76
1953	2.28	1.19	1.60	1.46	3.52	3.14	4.31	3.10	3.87	3.27	8.26	5.39
1954	1.40	5.59	1.46	2.46	3.10	2.46	1.78	3.81	4.51	3.23	2.92	2.10
1955	0.68	0.74	0.38	0.59	0.39	2.24	1.65	1.47	1.35	1.67	4.10	3.55
1956	2.89	2.35	2.61	2.07	4.07	3.73	3.69	6.23	3.68	2.25	3.00	2.06
1957	1.60	1.32	0.83	0.86	0.61	2.06	2.37	3.10	2.33	3.25	4.49	3.50
1958	2.40	0.88	0.59	0.44	6.17	5.70	5.21	3.40	3.60	3.37	3.65	3.12
1959	1.77	1.94	2.44	3.39	3.86	2.18	4.06	2.49	1.38	1.49	1.67	2.24
1960	2.09	1.10	0.85	1.43	1.19	1.30	3.91	3.98	1.87	2.33	1.69	2.33
1961	1.98	1.29	1.17	1.12	1.56	2.22	3.68	3.20	1.69	3.53	2.46	1.90
1962	4.75	2.14	0.87	2.76	2.58	4.67	4.89	3.86	3.75	2.29	1.78	1.17
1963	1.15	1.66	1.28	2.65	3.41	3.49	2.93	2.76	2.62	4.38	2.20	1.85
1964	2.18	1.36	1.75	4.50	3.19	5.64	3.45	4.37	4.40	5.83	2.45	2.71
1965	2.33	1.43	0.69	1.28	1.86	1.09	4.30	3.92	3.73	4.22	3.25	2.32
1966	1.70	3.32	2.91	1.99	5.87	5.08	6.65	6.30	4.24	4.31	3.49	3.54
1967	3.05	2.05	3.76	3.19	3.97	2.09	2.53	4.99	2.06	2.43	2.80	1.37
1968	2.03	0.99	0.78	2.54	3.67	5.87	3.62	3.17	2.40	1.77	2.07	2.22
1969	2.74	1.14	0.79	1.85	6.74	4.13	5.16	3.40	3.53	2.51	3.43	3.40
1970	1.84	1.25	1.32	0.80	3.19	5.23	5.15	3.89	3.94	4.92	3.55	7.85
1971	4.37	2.89	1.71	1.21	2.74	2.23	1.49	2.25	1.92	1.99	1.14	2.37
1972	3.25	4.11	5.61	3.12	3.94	4.19	3.43	3.10	4.81	3.75	6.02	3.48
1973	1.59	1.56	1.97	1.57	1.66	3.21	1.78	3.70	4.18	4.54	2.80	2.17
1974	5.09	3.29	3.89	2.93	2.13	2.30	1.87	3.88	6.33	4.44	3.92	2.42
1975	3.36	2.27	2.68	1.51	3.30	1.73	1.73	2.35	2.38	5.82	4.45	7.24
1976	3.03	4.04	4.74	2.99	2.17	2.79	3.10	2.97	3.87	5.97	4.94	6.94
1977	1.84	1.52	1.57	2.31	2.10	1.71	1.75	5.05	6.91	7.00	6.28	4.00
1978	4.66	1.85	2.12	2.35	4.49	5.55	3.84	3.26	3.57	5.36	3.71	3.12
1979	1.86	1.39	1.35	1.67	2.60	6.90	5.57	7.8	5.53	5.14	10.7	5.16
1980	3.63	2.31	1.75	2.14	1.53	2.36	4.05	5.85	4.99	3.19	6.22	4.33
1981	2.23	3.72	1.62	8.36	6.76	5.06	5.18	4.18	3.70	2.54	3.23	7.35
1982	3.68	5.07	2.68	2.20	2.84	3.04	3.66	3.12	4.86	3.71	6.75	5.85
1983	4.32	1.6	1.62	0.88	4.55	2.69	4.25	3.50	3.59	2.54	1.27	2.04
1984	3.02	2.3	1.71	0.96	1.40	3.37	3.78	2.65	4.30	4.38	10.2	1.72
1985	1.63	1.74	3.16	1.35	2.30	0.97	2.55	2.27	5.09	6.87	4.42	3.00
1986	3.29	2.26	2.50	3.35	2.78	2.69	1.86	3.37	2.80	2.05	8.88	3.78
1987	2.09	1.05	0.97	0.82	6.80	6.71	3.19	2.32	2.11	4.49	7.90	4.17
1988	4.61	2.55	2.55	2.75	2.58	3.30	4.05	8.62	5.45	6.46	3.77	2.94
1989	3.78	3.25	1.94	4.11	1.49	1.27	2.11	4.01	8.79	3.31	3.85	2.04
1990	2.54	1.65	1.42	1.75	3.13	2.92	3.32	3.21	1.62	5.83	4.39	4.12

2.2.3 Répartition interannuelle des crues

Les débits instantanés maximaux annuels relevés à Duclos jusqu'en 1982, puis à la cote 130, sont donnés dans le tableau suivant :

Débits de pointe maximaux annuels en m³/s

Année	Débit m ³ /s	Année	Débit m ³ /s	Année	Débit m ³ /s
		02/01/1980	158	24/11/1987	329
31/08/1974	400	07/09/1981	354	16/08/1988	186
20/05/1975	250	19/11/1982	460	17/09/1989	343
05/10/1976	280	01/01/1983	199	11/10/1990	361
21/09/1977	185	08/11/1984	347		
27/09/1978	296	27/09/1985	259		
29/08/1979	392	16/11/1986	547		

Après ajustement des principales lois hydrologiques à cet échantillon, la loi de Pearson III a été retenue et fournit les valeurs ci-dessous des périodes de retour des maximums annuels :

Ajustement des débits de pointe maximaux annuels

Période de retour en années	2	5	10	20	50	100
Débit en m ³ /s	299	396	457	512	580	630

Le maximum enregistré de 547 m³/s, le 16 novembre 1986, correspond à un maximum annuel de période de retour de l'ordre de 30 ans, et la crue maximale, pendant laquelle le transport solide a été observé, le 11 octobre 1990, à une période de retour de 3 ans.

2.2.4 Répartition saisonnière des crues

Les crues supérieures à 50 m³/s observées à Duclos de janvier 1974 à décembre 1982 et à la cote 130 de janvier 1983 à décembre 1990, se répartissent selon l'année comme suit :

Répartition des crues supérieures à 50 m³/s

Classe en m ³ /s	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	moy.
50-74	7	2	3	7	8	9	7	13	9	12	12	7	96	5.6
75-99	5	3	1	3	9	2	5	5	9	11	7	8	68	4.0
100-149	1	1 (105)			3	4	1	5	6	8	11	9	49	2.9
150-199	3 (199)		2 (185)	1	4	3	2	5	1	6	10	1	38	2.2
200-299				1 (236)	3	2	1 (263)	1	4	2	4		18	1.1
300-399					1 (328)	1 (342)		1	2 (354)	1 (361)	3	2 (358)	11	0.6
400-								1 (400)			2 (547)		3	0.2
Total	16	6	6	12	28	21	16	31	31	40	49	27	283	16.7
moyenne	0.9	0.4	0.4	0.7	1.7	1.2	0.9	1.8	1.8	2.4	2.8	1.6	16.7	

Les chiffres entre parenthèses représentent le débit maximum observé pour le mois considéré (en m³/s)

2.2.5 Distribution des débits instantanés

Les débits aux stations de Duclos de mars 1973 à décembre 1982 et de la cote 130 de janvier 1983 à décembre 1990, complétés par ceux relevés à Duclos le 16 novembre 1986, permettent d'établir les classes ci-dessous :

Répartition des durées d'écoulement et des volumes par classes de débits				
Classe de débit (m ³ /s)	temps (mn)	% du temps total	Volume écoulé (million de m ³)	% du volume total
0-5	8 205 374	88.27	1040.6	53.16
5-10	661 558	7.12	268.0	13.69
10-15	178 982	1.93	128.2	6.55
15-20	92 603	1.00	92.2	4.70
20-30	77 473	0.83	128.7	6.57
30-50	43 672	0.47	94.2	4.81
50-100	25 866	0.28	102.9	5.26
100-200	8 311	0.09	65.8	3.36
200-300	1 793	0.02	25.0	1.28
300-400	454	0.00	9.1	0.47
400-550	108	0.00	2.9	0.15
Total	9 296 196		1957	
Total débits > 50 m ³ /s	36 532	3.93	206	10.5
Total débits > 200 m ³ /s	2 355	0.02	37	1.89

2.2.6 Forme des crues

L'examen de quelques hydrogrammes unitaires mesurés à la station de Duclos à la cote 110 (superficie de 36 km²) a permis d'estimer un temps de montée des crues de l'ordre de 1 h 20 mn et un écoulement spécifique compris entre 0.11 et 0.23 m³/s/km² par mm d'eau ruisselé. Les coefficients de ruissellement pour des averses de quelques dizaines de mm oscillent entre 25 et 60 %.

La simulation des écoulements sur le Bras David, effectuée à partir du seul modèle numérique de terrain (grille d'altitude au pas de 30 m) a conduit à des résultats très voisins (C.Deprataere, 1991).



3 ESTIMATION DU TRANSPORT EN SUSPENSION

3.1 Méthodes de prélèvement

Les prélèvements de matière en suspension ont été effectués à la cote 130. Seule la rive gauche est accessible en période de crue. Le lit est limité en rive droite par une falaise, en rive gauche par une berge de pente moyenne. La rivière est barrée par un seuil de prise en béton, utilisé pour prélever un volume de l'ordre de 3 millions de m³/an. La canalisation d'une capacité de transfert de 600 l/s est accessible par un regard situé en rive gauche.

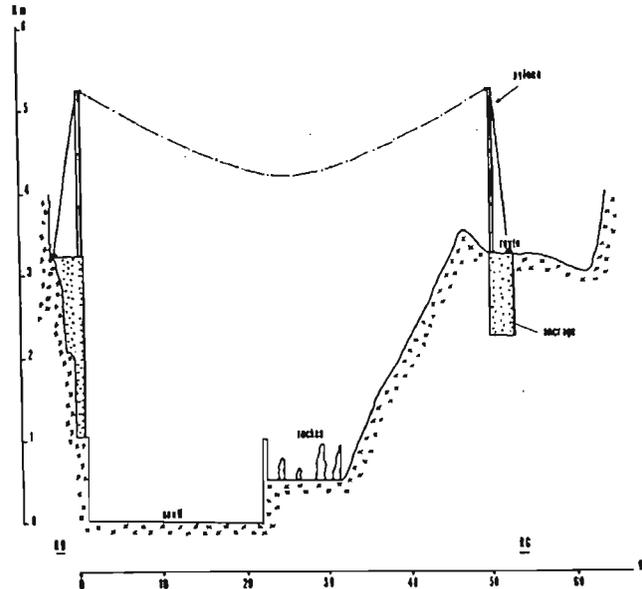


Schéma du profil en travers de la section de la cote 130

L'ORSTOM dispose sur le site de différents appareils de mesure :

- un limnigraphe de type OTT X en rive droite depuis avril 1982,
- une plateforme hydrologique PH 18 permettant la télétransmission des hauteurs d'eau mesurées,
- un pluviographe de type OEDIPE,
- et un dispositif de jaugeage par téléphérique permettant l'étalonnage des hautes-eaux.

Les prélèvements ont été effectués de deux manières :

- au saumon pour la crue du 25 octobre 1990, par pompage à partir de la rive gauche selon différents profils verticaux, en surface et en profondeur. Chaque prise d'échantillon est précédée par un rinçage du tuyau, et deux prélèvements sur une même verticale sont séparés par un laps de temps d'environ 3 minutes. Les verticales sont situées à 10, 15 et 20 m de la rive gauche, les points de prélèvement situés au 1/3 et aux 2/3 de la hauteur.
- au moyen d'un seau en rive gauche pour toutes les autres crues, sauf pour celle du 11 octobre 1990, les prélèvements ayant été effectués de 9h33 à 12h03 dans le regard de la prise d'eau, le passage de nombreux troncs et branchages rendant impossible le prélèvement direct en rivière ou par pompage. Le contenu des seaux est ensuite homogénéisé avant versement dans les bidons de stockage, ceci afin d'éviter la décantation des grosses particules.

3.2 Hétérogénéité spatiale des mesures

Des comparaisons selon l'emplacement et la profondeur du prélèvement ont été effectuées dans le cas de faibles débits.

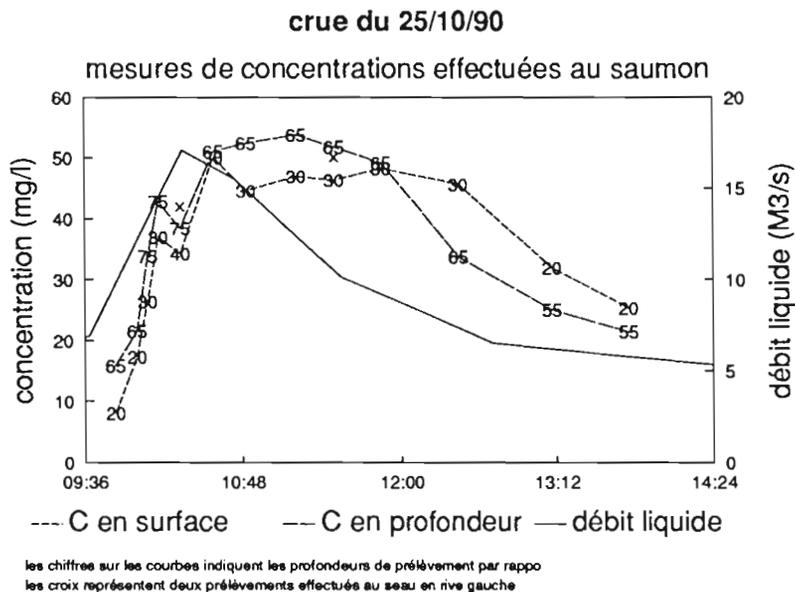
Crue du 13 avril 1989 - Mesures effectuées au seuil

Emplacement	Hauteur	Débit (m ³ /s)	Concentration mg/l
Rive droite	surface	5.4	5.4
	mi-profondeur		5.6
	fond		12.5
Centre	surface	6.0	6.3
	mi-profondeur		6.4
	fond		5.7
Rive gauche	surface	7.0	7.0
	mi-profondeur		7.0
	fond		9.4
Trou d'homme		7.2	5.9

Crue du 25 octobre 1990 Mesures effectuées au saumon, en montée et descente de crue

Emplacement	Hauteur	Débit m ³ /s	Concentration mg/l
Rive gauche	surface	9.73	8.15
	fond		15.9
Centre	surface	12.11	17.3
	fond		21.5
Rive Droite	surface	13.3	26.3
	fond		33.8
Centre	surface	14.49	36.9
	fond		42.8
Rive gauche	surface	16.86	34.2
	fond		38.4
	mesure au seuil		41.9
Centre	surface	16.17	50.1
	fond		51.1
Rive droite	surface	14.94	44.6
	fond		52.4
Centre	surface	12.35	47
	fond		53.8
Rive gauche	surface	10.44	46.4
	fond		51.8
	mesure au seuil		50.1
Centre	surface	10.10	48.3
	fond		49.2
Rive droite	surface	9.18	45.7
	fond		33.7
Centre	surface	6.20	31.9
	fond		25
Rive gauche	surface	5.79	25.3
	fond		21.4

Les mesures effectuées dans le "trou d'homme" ont été réalisées dans le premier ouvrage de décantation de l'eau prélevée sur le seuil et se trouvant en rive gauche avant le départ dans la conduite gravitaire.



3.2.1 Influence de la localisation du site de prélèvement

Au vu des deux tableaux précédents, aucune dispersion sensible des concentrations mesurées n'a été mise en évidence, selon que l'on effectue les prélèvements en rive gauche, au centre ou en rive droite. Il est probable que le caractère torrentiel de la rivière, surtout lors des fortes crues, assure par l'effet de la turbulence une homogénéisation transversale des concentrations dans le courant principal. Des variations ponctuelles peuvent exister sous la forme de "bouffées" passagères de matière en suspension. Cependant les prélèvements effectués de 5 à 15 mn d'intervalle n'ont pas mis en évidence de tels phénomènes pouvant entraîner des écarts importants entre les quantités mesurées. Les prélèvements en rive gauche, seule accessible lors des crues, seront donc considérés comme représentatifs de l'ensemble de la section.

La taille des sédiments transportés est fonction de la vitesse du courant. Les échantillons ont donc été prélevés en rive gauche aussi près que possible du courant principal, à une vingtaine de mètres à l'amont du seuil, hors de l'influence d'un ruisseau moins chargé en matière en suspension arrivant 40 m en amont.

3.2.2 Influence de la profondeur de prélèvement

3.2.2.1 Considérations théoriques

Une particule en suspension dans un fluide est soumise à plusieurs actions :

- la pesanteur, amenant la sédimentation
- la vitesse horizontale du fluide, assurant le transport
- la turbulence du fluide, assurant le mélange

L'échelle des processus turbulents va des gros tourbillons très énergétiques de dimension pouvant atteindre le mètre, notamment à l'aval des rochers, jusqu'aux tourbillons microscopiques inférieurs à 100 μm (échelle de Kolmogorov). Une particule suffisamment petite verra les effets gravitaires négligeables par rapport aux effets turbulents et se mélangera bien dans le fluide, inversement une particule plus grosse, bien que soumise aux tourbillons les plus importants, aura tendance à sédimenter sous l'influence de la gravité.

Une particule ne sera pas soumise aux effets gravitaires si son temps de réponse à une sollicitation turbulente est inférieur à l'échelle de temps d'autocorrélation du fluide. On montre que dans l'eau ceci correspond à des diamètres de l'ordre de 100 μm (Danard P. - 1989). En dessous de cette valeur, les concentrations pourront être considérées en moyenne comme homogènes verticalement.

En revanche, pour les tailles supérieures à cette limite, les concentrations mesurées dépendront de la profondeur de prélèvement.

3.2.2.2 Interprétation des mesures

Deux échantillons prélevés au seau en subsurface lors de la crue du 11 octobre 1990, le premier en montée de la première crue ($Q_{\text{max}} = 332 \text{ m}^3/\text{s}$), le second en montée de seconde crue ($Q_{\text{max}} = 182 \text{ m}^3/\text{s}$), ont donné les résultats suivants :

Crue du 11 octobre 1990 Analyses granulométriques

Diamètre des particules	1 ^{re} crue (mg/l)	2 ^{ème} crue (mg/l)
> 10 mm	0.0	0.0
> 5 mm	0.0	0.0
> 2 mm	1.85	9.72
> 1 mm	1.85	-
> 0.5 mm	2.72	5.84
> 0.2 mm	3.13	6.29
> 0.08 mm	19.9	28.5
> 0.05 mm	23.1	16.0
20 μm < < 50 μm	20.0	50.0
2 μm < < 20 μm	405.0	15.0
< 2 μm	135.0	75.0
Concentration totale	613	206

Les fractions inférieures à 80 μm correspondent, dans ces mesures, respectivement à 95% et 76% de la masse totale mesurée. Le premier pourcentage est probablement surestimé, le prélèvement ayant été effectué dans le trou d'homme et une décantation partielle ayant pu se produire dans la canalisation. Comme il a été vu précédemment, les concentrations correspondant à ces fractions peuvent être étendues à l'ensemble de la verticale.

En revanche, une sous-estimation systématique intervient sur les plus grosses particules. Les profils verticaux de concentration adoptés, basés sur l'équation de diffusion turbulente de Schmidt-Rouse sont généralement de type puissance ou logarithmique, la différence entre les concentrations en surface et en profondeur étant d'autant plus importante que la masse du sédiment est élevée. Cependant aucune étude spécifique d'un milieu de type torrentiel n'a pu être trouvée dans la littérature.

La taille des sédiments transportés est directement liée à la vitesse du cours d'eau. On peut raisonnablement envisager que les fractions les plus grosses seront faiblement représentées lors des faibles crues. Les concentrations relevées lors de la crue du 25 octobre 1990 indiquent ainsi une différence de l'ordre de 10 à 20 % entre les concentrations en surface et en profondeur, avec une inversion systématique du profil en fin de crue, sans qu'une

explication puisse être apportée à ce phénomène. Les mesures effectuées au seau pour comparaison sont de l'ordre de la valeur maximale observée. Aucune correction ne sera donc apportée sur les valeurs mesurées.

En revanche, pour la crue du 11 octobre 1990, les vitesses moyennes de l'ordre de 4.5 m/s sont suffisantes pour assurer le transport par suspension des grosses particules. Les fractions supérieures à 200 μm représentent de l'ordre de 10% de la masse du deuxième échantillon. Des mesures effectuées dans le Missouri River montrent que le rapport surface/fond des concentrations pour les sables peut être de l'ordre de 10. Considérons donc le profil vertical schématique suivant :

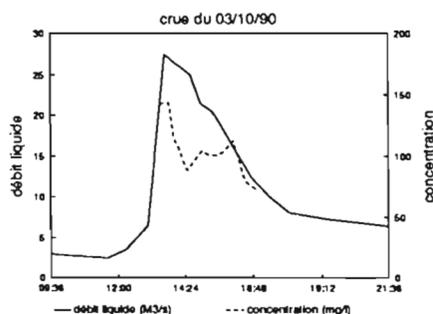
- 3/4 supérieur : concentration mesurée en surface
- 1/4 inférieur : (concentration mesurée en surface)*10

La concentration moyenne sur la verticale pour les fractions considérées devient alors le triple de la valeur de surface. En considérant la fraction supérieure à 200 μm , cela revient à majorer la concentration totale mesurée de 20 %. Cette correction sera adoptée pour l'ensemble des données de la crue du 11 octobre 1990.

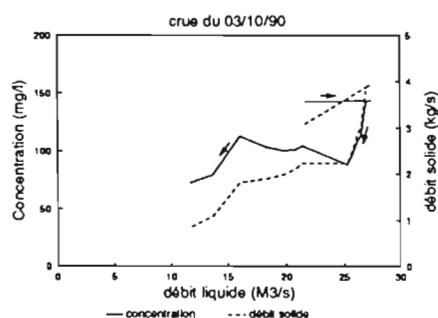
3.3 Caractéristiques des crues observées

Cinq crues ont fait l'objet de prélèvements de matière en suspension lors de leur déroulement. Leurs caractéristiques, ainsi que les résultats obtenus, sont donnés ci-dessous.

3.3.1 Crue du 3 octobre 1990



Débit maximum de crue :	27.4 m ³ /s
Temps de base :	06 h 27 mn
Temps de montée :	02 h 03 mn
Débit initial :	2.46 m ³ /s
Débit final :	8.03 m ³ /s
Volume écoulé :	0.337 10 ⁶ de m ³
Vitesse moyenne maximale :	1.5 m/s

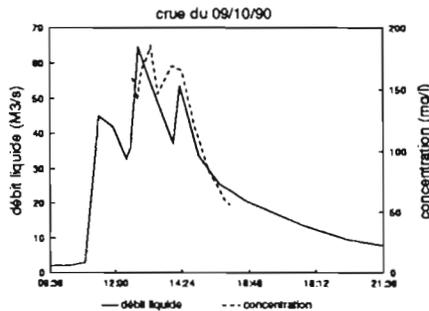


Nombre de pointes de crue :	1
Heures des maxima de crue :	13 h 40
Débits :	27.4 m ³ /s
Gradient max. de montée de crue :	0.58 m ³ /s/mn

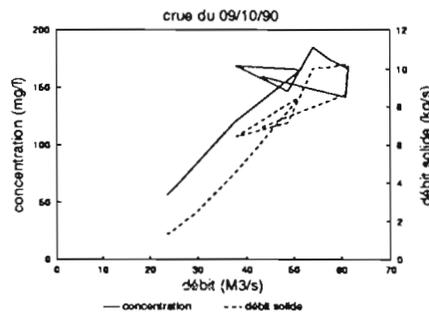
Les échantillons ont été prélevés en fin de montée de crue et en descente. La concentration maximale relevée est de 143.5 mg/l.

3.3.2 Crue du 9 octobre 1990

La crue se présente comme une crue complexe, comportant 2 pointes secondaires, correspondant à des débits de 45 et 53.6 m³/s. De ce fait, la relation entre la concentration et le débit présente un caractère assez complexe. Les échantillons ont été prélevés à partir de la fin de montée de la crue principale, avec un maximum recueilli de 184.6 mg/l.



Débit maximum de crue :	64.4 m ³ /s
Temps de base :	12 h 13 mn
Temps de montée :	02 h 36 mn
Débit initial :	2.01 m ³ /s
Débit final :	6.51 m ³ /s
Volume écoulé :	1.054 10 ⁶ m ³

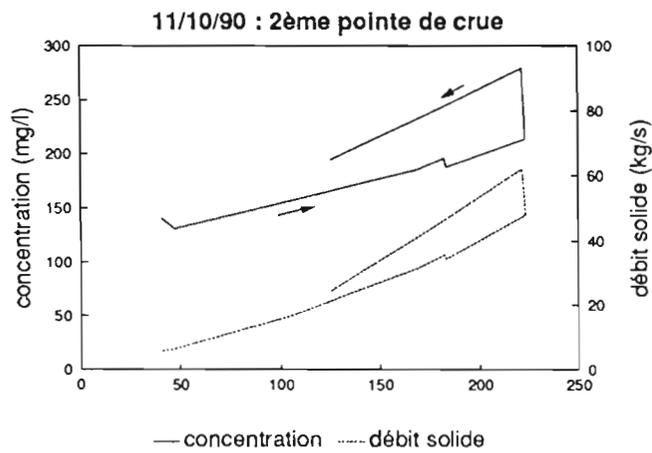
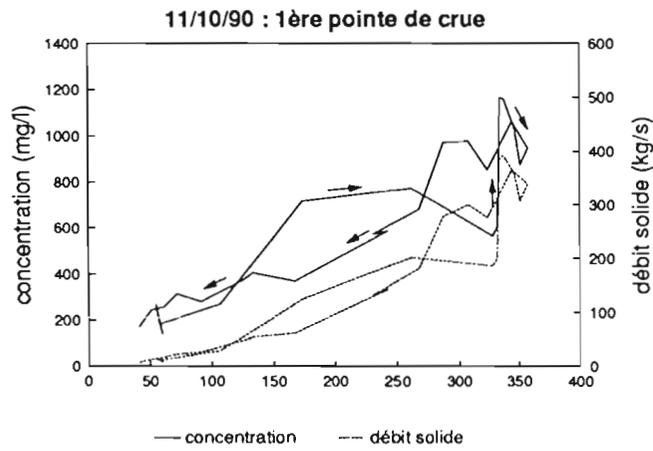
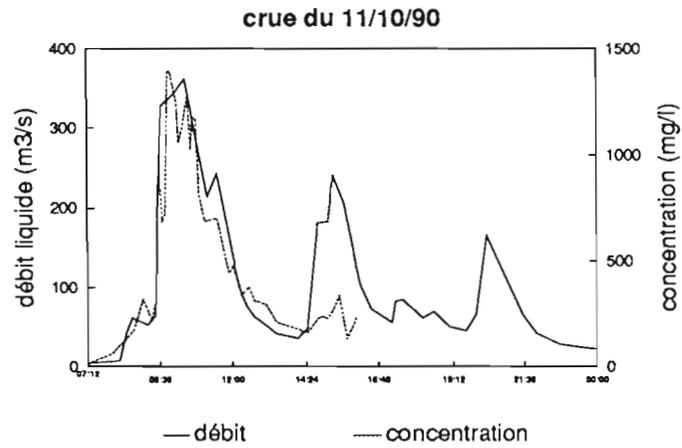


Nombre de pointes de crue :	1
Heures des maxima de crue :	12 h 51
Débit maximal :	64.4 m ³ /s
Gradient max. de montée de crue :	1.74 m ³ /s/mn
Vitesse moyenne maximale :	2.2 m/s

3.3.3 Crue du 11 octobre 1990

Cette crue constitue le maximum annuel pour 1990. Elle correspond à une pluie journalière enregistrée de 196 mm à Quiock et de 187 mm à Providence. Après un premier maximum secondaire de 60.8 m³/s, trois crues principales ont lieu, à 361, 241 et 166 m³/s. Les échantillons de matière en suspension ont été prélevés depuis la descente du maximum secondaire, soit au début de la montée de la première crue, jusqu'en descente de la deuxième crue principale. Le maximum de concentration mesuré est de 1164 mg/l, soit de 5 à 10 fois les concentrations mesurées par ailleurs.

Outre un gradient de montée très important, la première crue s'est caractérisée par le passage soudain de grandes quantités de branches, de troncs et d'arbres, de diamètres pouvant atteindre le mètre. Ce phénomène est probablement la conséquence du grand nombre d'arbres abattus subsistant sur les berges depuis le cyclone Hugo en septembre 1989. Il est possible de l'estimer d'après le volume de troncs d'arbres bloqués par le pont situé sur la Grande Rivière à Goyaves, peu après le confluent, à plusieurs dizaines de mètres cube.



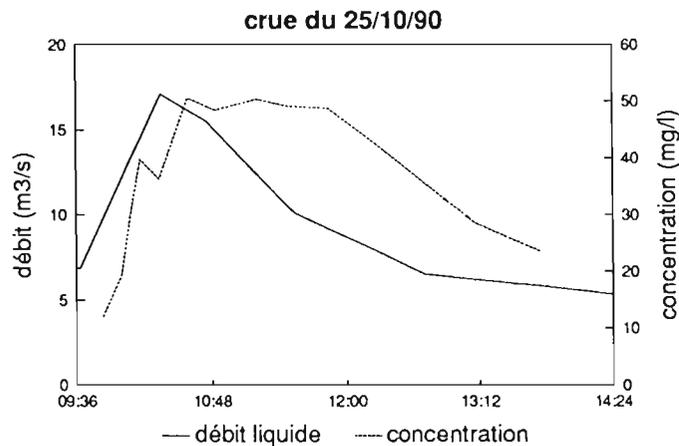
Débit maximum de crue : 361 m³/s
 Temps de base : 1 j 03 h 18 mn
 Temps de montée : 03 h 33 mn
 Débit initial : 3.49

Débit final : 8.03 m³/s
 Volume écoulé : 6.612 10⁶ de m³
 Vitesse moyenne maximale : 4.5 m/s

Nombre de pointes de crue :	1	2	3
Heures des maxima de crue :	13h40	15h18	20h19
Débits m ³ /s :	361	241	166
Gradient max. de montée de crue m ³ /s/mn :	22.0	6.33	5.02

3.3.4 Crue du 25 octobre 1990

Les échantillons ont été prélevés en montée et descente de crue, au saumon, selon différentes verticales et à différentes profondeurs. La concentration maximale mesurée est de 53.8 mg/l.

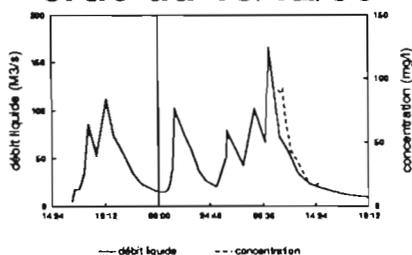


Débit maximum de crue : 17.1 m³/s
 Temps de base : 04 h 37 mn
 Temps de montée : 02 h 15 mn
 Débit initial : 2.01 m³/s
 Débit final : 6.51 m³/s
 Volume écoulé : 0.153 106 m³
 Vitesse moyenne maximale : 1.3 m³/s
 Nombre de pointes de crue : 1
 Heures des maxima de crue : 10 h 21 mn
 Débits m³/s :
 Gradient max. de montée de crue : 17.1 m³/s/mn

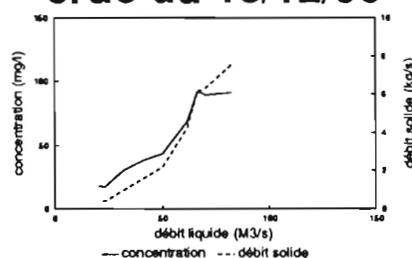
3.3.5 Crue du 13 décembre 1990

La crue présente deux maxima secondaires de débit respectif de 78.4 et 102 m³/s. Elle intervient après celle du 12/12/90 à 19h19 (112 m³/s), et du 13/12/90, à 01h34 (102 m³/s). Elle pourra donc être considérée comme une deuxième crue.

Les échantillons sont prélevés en descente du maximum principal. La concentration maximale enregistrée est de 92 mg/l.

crue du 13/12/90

Débit maximum de crue :	166 m ³ /s
Temps de base :	13 h 27 mn
Temps de montée :	04 h 08 mn
Débit initial :	19.8 m ³ /s
Débit final :	8.42 m ³ /s
Volume écoulé :	2.24 10 ⁶ m ³
Vitesse moyenne maximale :	3.25 m/s

crue du 13/12/90

Nombre de pointes de crue :	1
Heures des maxima de crue :	10 h 12
Débits m ³ /s :	
Gradient max. de montée de crue :	166 m ³ /s/mn

3.4 Interprétation des résultats

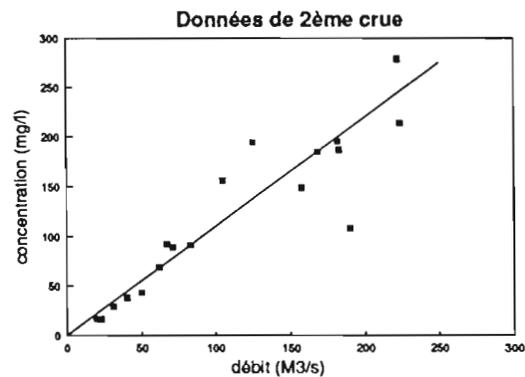
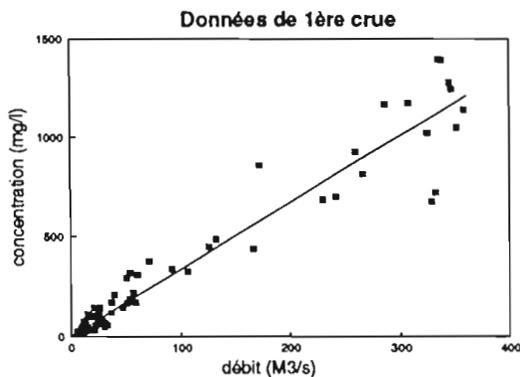
Au vu des résultats indiqués ci-dessus, il apparaît que la concentration varie globalement en fonction linéaire du débit. Cependant, quelques différenciations peuvent être faites :

- le coefficient reliant la concentration au débit dépend fortement de l'importance des crues antérieures précédant le prélèvement. Ceci est observé lors de la deuxième pointe de crue du 11 octobre 1990 et pour la descente du 13 décembre 1990, crue de 166 m³/s précédée en 16 heures de deux pointes indépendantes de respectivement 112 et 102 m³/s.
- la courbe $C=f(Q)$ laisse apparaître des phénomènes d'hystérésis traduisant une relation non univoque en montée et descente de crue.

Des régressions ont été effectuées pour chaque type de données, et fournissent des relations de type $C \text{ (mg/l)} = KQ \text{ (m}^3\text{/s)}$. Les valeurs de K obtenues sont indiquées dans le tableau ci-dessous.

Valeurs de K issues de la régression

type de données	coefficient de proportionnalité	R ²	nombre de valeurs
1 ^{ère} crue	3.36	0.93	72
2 ^{ème} crue	1.06	0.82	18
montée de 1 ^{ère} crue	3.29	0.87	20
descente de 1 ^{ère} crue	3.46	0.96	49



Les coefficients de régression indiquent une assez bonne corrélation entre les données de concentration et les débits observés. Le nombre d'observations et la diversité des types de crues étudiées apparaissent suffisants pour représenter de façon fiable le transport en suspension sur la rivière Bras David.

Si la différenciation est assez nette entre les données de première et de deuxième crue, celle-ci est trop faible pour être prise en compte entre les données acquises lors de la montée et de la descente. On considérera donc le coefficient K correspondant à l'ensemble des données, soit 3.4 pour les premières crues, et 1.1 pour les secondes.

3.5 Résultats de la régression

Le résultat de la reconstitution du transport solide en suspension utilisant les coefficients indiqués ci-dessus est indiqué dans le tableau suivant, sur la période 1974-1990, soit pour 17 années, et selon les différentes classes de débit liquide. Les pourcentages du temps et du volume écoulés dans chaque classe sont donnés par comparaison. Les coefficients de type deuxième crue sont appliqués de façon empirique, au cas par cas : débits de pointe supérieurs à 100 m³/s, intervalles entre deux crues importantes inférieurs à 6 à 12 heures, selon le type d'évènement considéré, etc...

Résultats de la reconstitution du transport en suspension

Classe en m ³ /s	Masse 1974-1990 (tonnes)	Moyenne annuelle	% masse	% temps	% volume
0-5	8 390	493	6.7	88.27	53.16 %
5-10	6 105	359	4.9	7.12	13.69 %
10-15	5 030	296	4.0	1.93	6.55 %
15-20	5 115	301	4.1	1.00	4.70 %
20-30	8 335	490	6.6	0.83	6.57 %
30-50	11 470	675	9.1	0.47	4.81 %
50-100	21 270	1 251	16.9	0.28	5.26 %
100-200	27 830	1 637	22.1	0.09	3.36 %
200-300	17 960	1 056	14.3	0.02	1.28 %
300-400	10 000	588	7.9	0.00	0.47 %
400-550	4 350	256	3.5	0.00	0.15 %
Total (tonnes)	126 000	7 400			
Total débits > 50 m ³ /s	81 400	4 790	64.7	3.93	10.5 %
Total débits > 200 m ³ /s	32 310	1 900	25.7	0.02	1.89 %

Les données utilisées n'incluent que partiellement la crue du 29 août 1979 (passage du cyclone David), le limnigraphe ayant été endommagé. Le résultat est donc à majorer d'environ 3 000 tonnes. De plus, le type de reconstitution utilisé par régression, ne peut donner le transport solide que de manière approchée. En utilisant le coefficient $K=3.4$ pour l'ensemble des données, donc en majorant le résultat, on obtient un total de 140 000 tonnes sur 17 ans, soit une moyenne de 8 200 tonnes par an.

On retiendra finalement un transport solide en suspension de l'ordre de **8 000 tonnes par an** en moyenne, soit 2.4 tonnes par hectare et par an.

3.6 Importance relative des fortes crues

Le transport solide en suspension a été calculé pour l'ensemble des crues supérieures à $300 \text{ m}^3/\text{s}$. Les résultats sont regroupés ci-dessous. Le pourcentage par rapport à la masse totale est déterminé en utilisant la valeur calculée de 126 000 tonnes. On notera également que la crue correspondant au cyclone David donne une masse de 1 800 tonnes, du début de la crue au passage du débit de pointe.

Transport solide en suspension pour les crues supérieures à $300 \text{ m}^3/\text{s}$

Date	Débit maximum (m^3/s)	Masse calculée (tonnes)	Volume écoulé (millions de m^3)	% de la masse totale
31/08/74	400	1 200	2.1	0.93
10/11/79	388	2 900	4.2	2.29
26/05/81	328	2 100	3.4	1.63
07/09/81	354	1 800	2.9	1.44
29/12/81	350	2 300	4.9	1.79
19/11/82	460	2 400	3.3	1.89
31/12/82	358	1 800	3.6	1.43
16/06/84	342	600	1.6	0.47
08/11/84	347	1 100	1.8	0.90
16/11/86	547	6 100	6.1	4.80
24/11/87	329	1 500	5.59	1.22
17/09/89	343	5 500	11.5	4.33
11/10/90	361	2 900	6.2	2.34
Total		32 000	57	26.8

Ces 12 événements représentent donc plus du quart du transport solide transitant à la cote 130 de 1974 à 1990. Cependant ces crues, de volumes comparables à la capacité de rétention de la retenue, se déverseront par le trop-plein. La masse totale sédimentant dans la retenue sera donc inférieure à celle transitant à la cote 130.

Aucune relation n'a pu être déterminée entre la masse transportée et le débit de pointe, chaque crue possédant des caractéristiques propres. Les concentrations moyennes sur l'ensemble de la crue sont très dispersées (de 280 à 990 mg/l). On notera que le coefficient $K=1.1$ a été appliqué à une partie de la crue correspondant au cyclone Hugo. La valeur calculée avec uniquement le coefficient $K = 3.4$ serait de 6 300 tonnes. L'importance de la masse transportée s'explique principalement par celle du volume écoulé.

3.7 Comparaisons

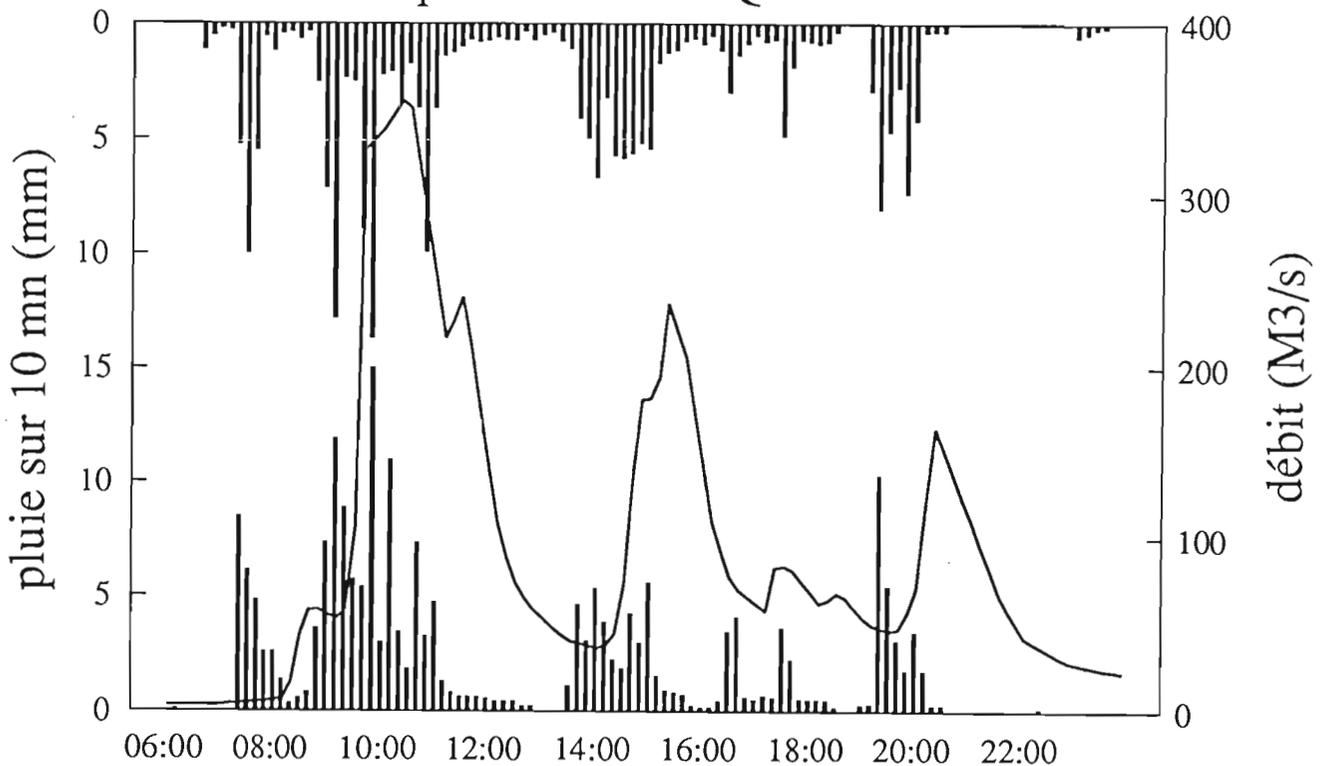
Une première estimation de 17 000 tonnes par an a été effectuée par la SCET en 1981 sur le transport solide sur la rivière Bras-David à partir de 10 échantillons prélevés au seau, correspondant à deux

crues de débits de pointe respectifs de 35 et 130 m³/s. Les concentrations mesurées dans ces deux cas, respectivement de 1 200 et 3 500 mg/l, apparaissent largement surestimées d'après nos observations visuelles et celles indiquées dans la littérature. De plus, le mode de reconstitution utilisé, les débits utilisés étant les débits journaliers, ne restitue pas l'importance des phénomènes transitoires. Dès lors, la valeur calculée nous paraît peu fiable et en tout état de cause surestimée.

La valeur calculée d'un taux d'érosion de 2.4 tonne/ha/an est à comparer aux ordres de grandeurs déterminés en zone tropicale humide forestière (une tonne par hectare et par an) et cultivée (jusqu'à plusieurs dizaines de tonnes par hectare et par an). L'érosion par ruissellement sur le bassin de Bras-David apparaît donc relativement faible. Ceci s'explique par la présence d'un important couvert végétal, interceptant l'énergie cinétique des gouttes d'eau génératrice d'érosion, dont le résultat est le maintien des sols en place.

crue du 11/10/90

pluviométrie à Quiock



pluviométrie à Providence

4 ESTIMATION DU TRANSPORT PAR CHARRIAGE

Le transport par charriage obéit à des mécanismes différents de celui en suspension. La masse des éléments les oblige à un déplacement par roulement sur le fond ou par saltation. La taille des éléments charriés ainsi que le seuil de mise en mouvement dépendent à la fois des débits et des caractéristiques morphologiques de la rivière : pente, rayon hydraulique, granulométrie et rugosité du lit, existence ou non d'une crue ayant préalablement déstabilisé le fond,... Le charriage constitue donc un phénomène complexe et très difficile à quantifier. Deux approches ont été utilisées, l'une expérimentale, par observation du charriage sur une période donnée, l'autre théorique, après recherche dans la littérature d'approches applicables à une rivière à forte pente du type Bras David.

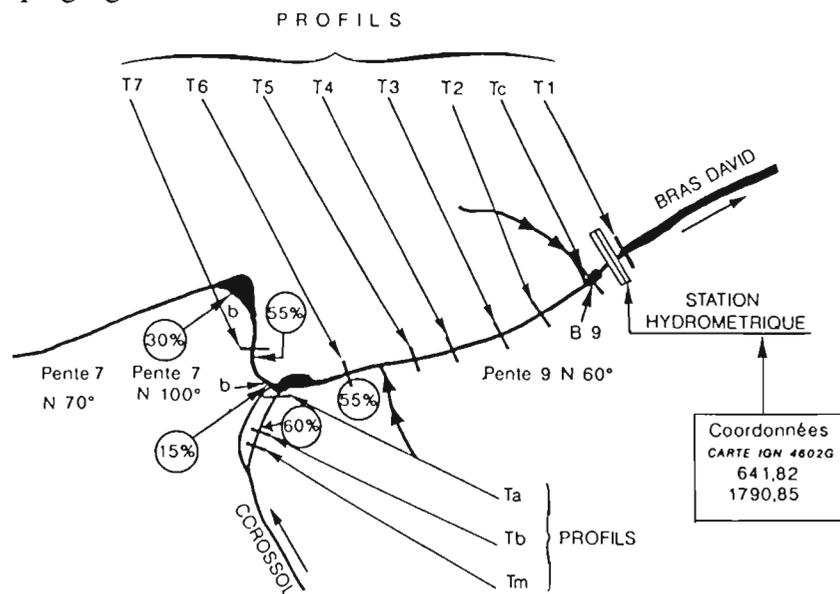
4.1 Morphologie du site de l'aménagement

La largeur du Bras David en amont de sa confluence avec la rivière Corossol est d'environ 20 m ; elle atteint 30 m au site de l'aménagement. La largeur de la rivière Corossol est d'une quinzaine de mètres.

Le Bras David en amont de la cote 130 est composé d'une succession de tronçons rectilignes de pente constante et de coudes. Le plus souvent, les changements de direction sont marqués par la présence de bassins de profondeur supérieure au mètre au pied de petites falaises plus ou moins consolidées en rive concave. En rive convexe, se trouvent des bancs sédimentaires d'importance variable.

Dans les zones où la terrasse alluvionnaire est moins étroite, le lit de la rivière se dédouble en un ou plusieurs bras secondaires dont certains ne sont ennoyés qu'en période de crue. Le lit majeur du cours d'eau est difficilement délimitable car recouvert d'une végétation dense ; il ne participe pas au charriage.

Le long du bief étudié au-dessus de la cote 130 m, neuf tronçons successifs présentant des pentes relativement constantes sont séparés par des bassins. Les dépôts sédimentaires en rive convexe de ces bassins sont de granulométrie inférieure à celle des tronçons rectilignes. Cela s'explique par la brusque diminution de la vitesse moyenne de l'écoulement. Ces bassins constituent des zones potentielles de piégeage en amont et d'érosion en aval.



4.2 Sédimentation

Les sédiments des rivières Bras-David et Corossol ont une granulométrie très grossière de type torrentiel. Les évaluations de pourcentage des différentes classes ont été déterminées en estimant visuellement leur proportion de surface au sol :

- des blocs dont le diamètre est mesuré à l'aide d'un mètre,
- des graviers et galets mesurés avec un pied à coulisse,
- des sables et petits graviers par tamisage et pesée.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus en différents sites selon les classes définies par l'American Geophysical Union :

Estimation des classes granulométriques en % de surface visuelle

Classe	P1a	P1b	P2a	P3 N80	P4 B4a	BAa B4b	P6	B7	P8 T7	B8	T6	Tb
I	10	2	10	10	0	0	10	5	5	0	5	10
II	10	3	20	10	5	10	10	5	15	5	30	25
III	30	10	30	10	5	50	50	20	35	10	20	25
IV	25	35	30	40	55	20	20	30	33	30	20	20
V	15	20	5	20	30	15	5	20	5	20	20	10
VI	5	25	5	5	3	3	3	5	5	25	3	3
VII	5	5	0	5	2	2	2	5	2	5	2	2
VIII	0	0	0	0	0	0	0	10	0	5	0	0

	<i>Diamètre en mm</i>	<i>Composition</i>
<i>Classe I</i>	<i>1000 - 2000</i>	<i>Grands blocs</i>
<i>Classe II</i>	<i>500 - 1000</i>	<i>Blocs moyens</i>
<i>Classe III</i>	<i>250 - 500</i>	<i>Petits blocs</i>
<i>Classe IV</i>	<i>130 - 250</i>	<i>Gros galets</i>
<i>Classe V</i>	<i>64 - 130</i>	<i>Petits galets</i>
<i>Classe VI</i>	<i>16 - 64</i>	<i>Gros graviers</i>
<i>Classe VII</i>	<i>2 - 16</i>	<i>Moyens et fins graviers</i>
<i>Classe VIII</i>	<i>0.063 - 2</i>	<i>Sables</i>
<i>Classe IX</i>	<i>0.004 - 0.063</i>	<i>Limons</i>
<i>Classe X</i>	<i>< 0.004</i>	<i>Argiles</i>

Le long des tronçons rectilignes les dimensions de blocs les plus nombreux sont de 130 à 150 mm. Les galets de diamètre inférieur, notamment compris entre 16 et 64 mm sont abondants entre les éléments plus gros qui les protègent. Le sable grossier et les petits graviers se déposent sur les berges des bassins où ils forment de plages. On observe les plus gros blocs dans les zones d'érosion de la terrasse ancienne, dans la partie aval des tronçons rectilignes.

4.3 Estimation expérimentale

4.3.1 Sélection des profils de contrôle

Six profils transversaux et un profil longitudinal ont été effectués à différentes reprises entre avril 1989 et octobre 1990 afin d'observer l'évolution du lit de la rivière, entre le confluent du Bras-David et de la rivière Corossol et le seuil hydrologique de la Cote 130.

Trois sites de marquage de blocs, galets et graviers ont été repérés.

4.3.2 Evolution du lit

Aucune évolution notable de la morphologie du bief étudié n'a été constatée pendant la période d'observation. Les chenaux principaux d'écoulement ne se sont pas déplacés, et aucun creusement ou engraissement du lit n'a pu être observé, malgré deux crues importantes à plus de 300 m³/s. La rivière pourra donc sur cette portion être considérée comme morphologiquement stable à l'échelle de temps de l'étude. La valeur du charriage calculée en amont pourra donc être considérée comme identique à l'aval.

En revanche, un creusement de l'ordre de 10 à 20 cm a pu être observé sur la rivière Corossol, juste en amont du confluent, après la crue de retour 3 ans du 11 octobre 1990 (profil Tb). Il lui correspond un balayage généralisé des galets de quelques centimètres de diamètre, dont un très grand nombre a été retrouvé en aval au niveau du confluent avec le Bras-David, modifiant à la fois la granulométrie et le profil de ce tronçon. Un mouvement de plus de 20 m d'un bloc de diamètre supérieur à un mètre a également été observé.

Ceci indique que le lit de la rivière Corossol n'est pas en équilibre. Les équations régissant le transport solide n'y sont donc pas applicables, et les estimations expérimentales, sujettes aux fluctuations importantes du charriage (phases d'engraissement et de dégraissement), y sont difficiles et peu fiables sur la période d'observation d'une année. Vu le faible nombre de cailloux retrouvés après la crue du 11 octobre 1990 et la difficulté d'exploiter les résultats des crues précédentes, il ne sera pas fourni d'évaluation expérimentale.

4.3.3 Estimation du charriage

Deux systèmes de nasses à sédiments, dont l'un utilisé en milieu fluvial, ont été testés sur la rivière Bras David : la première, constituée d'un cadre métallique rectangulaire retenant un filet en tissu de 3 m de long, posé sur le fond et retenu par une chaîne, semble plus adaptée aux mesures de charriage de sables fins. La seconde nasse était constituée d'un tube en tôle de 50 cm de diamètre de 2 m de longueur, maintenu dans le sens du courant par un châssis fixé par un gabion enfoui d'un volume de l'ordre de 1.5 m³, dont la génératrice inférieure était située à 30 cm du fond du lit, et fermé à l'aval par une grille. Cette seconde nasse a été emportée par la crue du 09 novembre 1990 (64.4 m³/s). Seuls quelques herbes et des branchages avaient été recueillis, pour des débits inférieurs à 50 m³/s. L'utilisation de nasses en milieu de type torrentiel paraît donc difficile à mettre en oeuvre. Les estimations expérimentales ne se baseront donc que sur le marquage des cailloux.

Le site choisi se situe sur le profil T6, situé à l'aval du confluent des rivières de Bras-David et de Corossol, ceci afin de profiter des 200 m de ligne presque droite jusqu'au seuil. Un nombre important de cailloux de tailles allant de quelques centimètres au mètre a été peint. Les distances parcourues lors des crues ont été mesurées à différentes reprises, permettant d'obtenir un suivi sur plus d'une année. Ensuite soit les cailloux étaient replacés sur leur profil d'origine, dans des conditions proches de la réalité, soit un nouvel échantillon était peint, après la crue du 11 octobre 1990.

Il n'a pas été possible de différencier individuellement le charriage correspondant à chaque crue. En effet, malgré l'utilisation de couleurs voyantes, le repérage des cailloux ne pouvait se faire qu'avec une eau suffisamment claire et un débit suffisamment faible. Toutefois, aucun charriage n'a pu être observé pour des crues inférieures à 50 m³/s.

Le diamètre maximum des éléments charriés sur le profil T6 a été de 60 cm lors de la crue du 11 octobre 1990, pour une distance parcourue de 22 m. De faibles mouvements ont été observés pour les blocs de tailles supérieures, ceux-ci ayant basculé sous l'action du courant ou après affouillement de leur base.

Le charriage solide a été estimé d'après les distances parcourues par chaque classe granulométrique. Les résultats obtenus pour chaque période d'observation sont indiqués dans le tableau suivant, ainsi que les crues correspondantes de débits de pointe supérieurs à 50 m³/s.

Valeurs expérimentales de charriage

Période d'observation	Crues observées > 50 m ³ /s	Charriage (m ³)
Août 1989	75	6
Oct 1989 - 21/08/90	58.2 63.2 87.1	5
21/08/90 - 29/09/90	100	9
29/09/90 - 13/10/90	64.4 361	340
05/11/90 - 11/01/91	113 112 102 166	28
11/01/91 - 04/03/91	64	1

On constate donc qu'aux crues de débits de pointe inférieurs à 100 m³/s correspondent un charriage très faible. Le seuil de mise en mouvement des matériaux marqués du lit semble se situer vers 60 m³/s.

Ces données ont été utilisées pour reconstituer le charriage, en considérant, pour des débits supérieurs à 100 m³/s, le volume solide déplacé comme une fonction linéaire du débit de pointe de la crue : $V_{sol} (m^3) = 1.27Q_{lig}(m^3/s) - 118$. Cette reconstitution ne peut donner que des ordres de grandeur, le volume charrié dépendant en fait du temps écoulé aux forts débits. Le volume de 340 m³ pour la crue du 11 octobre 1990 correspond en fait à 3 crues distinctes de 361, 241 et 166 m³/s. De plus, la relation volume charrié - débit de pointe à proximité du seuil de mise en mouvement est plus probablement de type exponentiel que linéaire. L'estimation fournie constitue donc une majoration du volume réel.

Sur la période 1974 - 1990, on obtient ainsi un volume charrié de l'ordre de 15 000 m³, pour un volume annuel de l'ordre de 900 m³, 95 % du charriage correspondant à des crues supérieures à 100 m³/s.

4.4 Estimation théorique

4.4.1 Equations utilisées

Les considérations théoriques ci-dessous sont basées sur deux équations : celle de Manning-Strickler pour le débit liquide, et celle de Meyer-Peter Müller pour le charriage. Cette dernière relation est cependant à prendre avec précaution, aucune relation théorique n'ayant jusqu'ici réussi à s'imposer par l'exactitude des résultats obtenus. M. Bouvard signale ainsi l'existence d'une vingtaine de formules donnant des résultats variant d'un rapport de 1 à 100, et surtout de forts écarts avec les mesures physiques in situ. L'essentiel des résultats publiés concerne des fleuves ou des rivières à pente douce, les rivières à forte pente du type Bras David constituant des milieux physiques plus difficilement modélisables. Nous justifierons l'utilisation ici de la relation de Meyer-Peter Müller par l'étude effectuée sur la "Rivière des Galets" à la Réunion par la Sogreah, rivière de caractéristiques proches de celles du Bras David, pour laquelle les calculs théoriques ont été comparés aux résultats obtenus sur modèle réduit.

Les équations utilisées seront donc les suivantes :

Débit liquide :

$$Q_L = K R_H^{5/3} J^{1/2}$$

où K : coefficient de rugosité du lit
 R_H : rayon hydraulique
 J : pente de la rivière

Débit solide par charriage :

$$Q_s = 13.7 \delta (\delta - 1)^{3/2} L d_{50}^{3/2} \left[\alpha \frac{R_H J}{(\delta - 1) d_{50}} - 0.047 \right]^{3/2}$$

où L : largeur de la rivière
 d_{50} : diamètre moyen des éléments
 δ : densité du sédiment
 α : coefficient minorateur

4.4.2 Cas de la rivière Bras-David

Les équations seront appliquées à la rivière Bras-David au niveau du profil T6, ceci afin de pouvoir effectuer des comparaisons avec les estimations expérimentales.

Sur ce profil, la rivière est constituée d'une part d'un lit mineur relativement encaissé, recouvert de galets et de rochers de tailles pouvant être supérieures au mètre, d'autre part d'un lit majeur recouvert d'une végétation abondante, limité en rive droite par une falaise. On considèrera donc comme largeur de la rivière la largeur utile pour laquelle se produit le charriage, soit 35 m.

- $d_{50} = 0.25$ m

$$- K = \frac{26}{d_{50}^{1/6}} \approx 32$$

- $J = 1.96 \%$. Le tronçon étudié fait donc partie des rivières à fortes pentes

$$- \delta = 2.5$$

$$- R_H = \frac{LH}{L + 2H} \approx H$$

en considérant $H \ll L$

$$- \alpha = \left(\frac{Q}{Q_L} \right) \left(\frac{k_S}{K} \right)^{3/2}$$

où Q représente le débit liquide participant au charriage, Q_L le débit total, k_S la rugosité du lit, dunes comprises. Le fond étant plat, $k_S = K$.

4.4.3 Seuil de début de charriage

Le charriage est généralement considéré comme un mouvement à seuil, c'est-à-dire qu'il est nul en-dessous de certaines valeurs de débit. Ce seuil est très difficile à évaluer et dépend de plusieurs paramètres : granulométrie du lit de la rivière, déstabilisation du lit après une crue importante (par exemple celle du 11 octobre 1990), existence de pavage (protection d'éléments de petite taille par un lit de galets assez stable),... Ce dernier phénomène n'a pas été observé.

On considère que le charriage débute lorsque la valeur τ du taux de cisaillement est supérieure à une valeur critique τ_c à partir de laquelle le cisaillement est suffisant pour compenser la gravité.

En toute rigueur, cette valeur est fonction du diamètre de la particule et de la disposition de celle-ci dans le lit de la rivière : directement en prise au courant, dissimulée derrière ou sous d'autres éléments, etc... Ces paramètres sont bien évidemment impossibles à prendre en compte. Les formules théoriques considèrent donc un seuil de début de charriage fonction de paramètres globaux de la rivière. Dans le cas de la formule de Meyer-Peter Müller, ce seuil correspond à une valeur positive de Q_s .

On obtient ainsi une valeur de débit de l'ordre de $140 \text{ m}^3/\text{s}$. Cette valeur est plus élevée que le seuil observé de $60 \text{ m}^3/\text{s}$. M.Ramette insiste cependant sur le fait que les formules théoriques reproduisent de façon très imprécise le transport solide pour des débits proches du débit critique. De plus, les relevés effectués après la période du 5 novembre 1990 au 11 janvier 1991, correspondant à des crues de 113, 112, 106 et $166 \text{ m}^3/\text{s}$, ne donnent qu'un faible de charriage de 28 m^3 , pour des diamètres maximaux déplacés de 25 cm. Le seuil de charriage à considérer est donc probablement supérieur à cette valeur de $140 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le lit du Bras-David comporte un très grand nombre de blocs de diamètres supérieurs au mètre. Leur présence indique que le Bras-David possède des crues suffisamment importantes pour pouvoir les charrier. Un seul mouvement a pu être observé pour ces tailles lors de l'étude expérimentale (déplacement de 20 m pour un bloc de diamètre supérieur au mètre). Les réserves émises plus haut sur la possibilité de calculer les vitesses nécessaires à leur mise en mouvement peuvent être levées en considérant que leur taille élevée permet de les soumettre à l'action du courant. La relation d'Isbah donne les vitesses nécessaires à l'entraînement de tels blocs : $V = 1.2\sqrt{2g(\delta-1)D_e}$, où D_e est le diamètre équivalent.

Pour des blocs d'un mètre, on obtient ainsi une vitesse de 6.5 m/s, ce qui étendu à toute la section donne un débit minimal de l'ordre du maximum observé, soit 547 m³/s. Il convient donc de considérer que ces événements générateurs d'un très fort charriage se produisent en fait relativement fréquemment avec une période de retour de l'ordre de quelques années.

4.4.4 Résultat de l'estimation théorique

La reconstitution a été effectuée en considérant d'une part α égal à 1, d'autre part α différent de 1. Les valeurs sont déduites de celles utilisées par la Sogreah dans l'étude de la Rivière des Galets, à savoir :

Valeurs de α - d'après la rivière des Galets

Q_L (m ³ /s)	140	200	250	300	350	400	450	500	550
α	1	0.954	0.94	0.93	0.92	0.91	0.90	0.89	0.88

Les valeurs de charriage obtenues dans ces deux cas, reconstituées sur les 17 années de débit et sur 1990, sont présentées dans le tableau suivant :

Volumes de matériaux charriés

	V_{total} (m ³)	V_{1990} (m ³)	$V_{moyen,annuel}$ (m ³)
$\alpha = 1$	185 000	13 000	11 000
α	145 000	10 000	8 600
valeurs expérimentales	15 000	≈ 400	900

Les valeurs théoriques obtenues sont manifestement très supérieures aux valeurs réelles. On constate ainsi un rapport de 1 à 20 pour 1990 entre les données théoriques et les données expérimentales. Pour $\alpha=1$, les débits inférieurs à 300 m³/s représentent 60 % du volume total charrié. Les valeurs théoriques dépendent donc fortement du seuil de mise en mouvement. Or, Ramette indique que les équations sont très imprécises pour des valeurs de débit proches de celles provoquant le début de charriage. Pour comparaison, les débits centennaux sont pour le Bras David et la Rivière aux Galets respectivement de 650 et 2 500 m³/s. L'ensemble des débits à considérer dans l'étude du charriage est donc trop proche du seuil de mise en mouvement pour donner une estimation théorique fiable.

On retiendra donc finalement une valeur du charriage de l'ordre de **1 000 m³/an**, tout en gardant à l'esprit l'imprécision assez importante de ce type d'estimation.

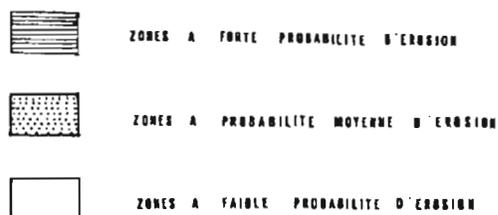
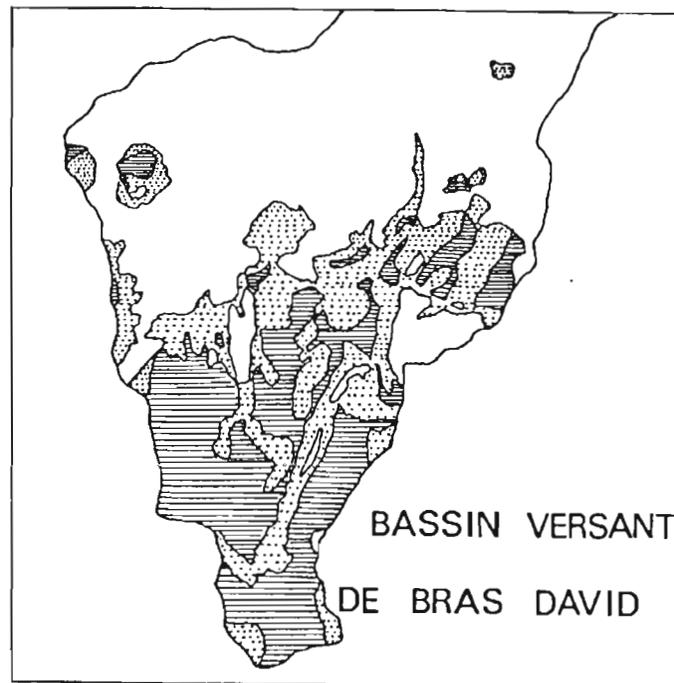
5 ZONES ERODABLES ET SEDIMENTATION DANS LA RETENUE

5.1 Mise en évidence de zones érodables

Dans le cadre d'une convention passée entre le Conseil Général et le BRGM, l'ORSTOM et l'UAG, P.Mompelat a mis en évidence les zones à potentialité d'érosion, sur la base de croisements d'images SPOT et de cartes thématiques numérisées.

Le schéma suivant donne la localisation des zones à forte potentialité d'érosion.

carte des probabilités d'érosion



Zones à forte potentialité d'érosion sur le bassin versant du Bras David

Les modèles mathématiques utilisés pour le calcul de la sédimentation sont plus ou moins complexes et ne seront pas abordés ici.

Les méthodes empiriques de prévision de la sédimentation d'une retenue sont basées sur les observations tirées des nombreuses retenues.

Le taux de décantation, rapport entre le volume des matériaux décantés dans la retenue et la quantité totale des matériaux apportés par la rivière, est lié à plusieurs paramètres :

- le rapport entre la capacité de la retenue et les apports annuels
- la période de rétention, exprimée en jours : rapport du volume de la retenue à l'apport moyen journalier
- la capacité utile de la retenue définie comme le rapport entre le volume de la rivière et la zone de la rivière contrôlée par la retenue.

Les apports annuels du Bras David constituent 130 millions de m³, pour un volume de retenue de 3 millions de m³. On constate que lorsque pour un rapport capacité/apports annuels proche de 2%, le taux de rétention est généralement compris entre 50 et 70 %. Il varie alors fortement avec la topographie de la retenue, l'hydrologie et la nature des sédiments. Concernant la retenue du Bras David nous admettrons un taux de décantation maximal de 80 %.

Les mécanismes de sédimentation dans une retenue se manifestent essentiellement par un engravement à l'amont et une sédimentation dans la cuvette elle-même.

5.2 Engravement à l'amont de la retenue

La présence de l'eau contenue dans la retenue gêne l'écoulement de la rivière entrante. Un remous se produit et la baisse de vitesse qui en résulte entraîne une diminution de la capacité de transport de la rivière, dans le cas du Bras David, sur plusieurs centaines de mètres en amont de l'exutoire du cours d'eau dans la retenue.

Ainsi, à l'entrée de la retenue, lorsque celle-ci est pleine, le cours d'eau donnera naissance à un cône de déjection de blocs rocheux. Ce cône sera raboté régulièrement par les plus fortes crues lorsque le niveau eau dans la retenue sera plus faible. Selon les contraintes d'exploitation de la retenue cet engravement devra faire l'objet d'une extraction qui se limitera au surplus déposé.

5.3 Sédimentation dans la retenue

L'implantation du barrage dans le bief considéré du Bras David va entraîner notamment :

- une modification du régime des débits à l'aval de l'ouvrage,
- une transformation des caractéristiques du lit au droit de la retenue,
- et une modification profonde des conditions d'écoulement le long du bief ennoyé.

Cette dernière conséquence se traduira par un accroissement des sections mouillées qui provoquera une diminution des vitesses et par là-même des forces tractrices disponibles pour le transport solide.

Les matériaux solides transportés par le flot seront déposés dans la retenue d'amont en aval de la granulométrie la plus grossière à la plus fine.

Le temps de séjour moyen de l'eau dans la retenue du Bras David sera de l'ordre de 8 jours. Les matières en suspension les plus denses ou les plus floculables se déposeront tandis qu'une fraction sera en traînée vers l'aval par déversement lors des plus fortes crues ou par vidange de la retenue.

6 CONCLUSION

L'analyse comparée des estimations théoriques et des mesures expérimentales de transport solide et de charriage acquises en 1989 et 1990 et transposée sur la période d'observation des 17 années de débit liquide aux stations de la cote 110 puis de la cote 130 conduise aux ordres de grandeur suivants :

- matières en suspension : 8 000 tonnes par an
- charriage blocs et galets : 1 000 m³/an

Ces valeurs s'appliquent aux matériaux transportés par le cours d'eau au travers d'une section naturelle du Bras David localisée aux environs de la cote 130. Elles correspondent à un transport de matières en suspension d'environ 2.35 tonnes par hectare, grandeur normalement constatée sur des bassins versants tropicaux recouverts de forêt.

La sédimentation dans la retenue se traduira par le dépôt de matériaux de granulométrie de plus en plus fine vers l'aval de la retenue. D'importantes quantités de matériaux seront évacuées par le déversoir à l'occasion des plus fortes crues, elles-mêmes les plus chargées. Le volume annuel des matériaux déposés dans la cuvette sera de l'ordre de 2 000 m³ à 3 000 m³ par an, correspondant à un tonnage de l'ordre de 7 000 tonnes.

Concernant l'apport de matériaux à la retenue par charriage, il se limitera à l'accumulation de blocs et de matériaux grossiers dans la partie amont de la retenue. Cet apport conduira à une modification régressive du profil en long du lit mineur du cours d'eau sur quelques centaines de mètres en amont de la retenue.

Le bassin versant du Bras David est pratiquement intégralement localisé dans la réserve du Parc National de la Guadeloupe, et, bien que traversé par la route départementale 23, son couvert forestier devrait être intégralement préservé. Il n'y a donc pas lieu de prévoir une augmentation des quantités de matières en suspension transportées, si des mesures sont prises pour prévenir les glissements de terrain et les éboulements dans les zones anthropiques du bassin.

En revanche, on retiendra que les plus fortes crues pourront charrier d'importants volumes d'arbres et de débris végétaux, notamment si celles-ci ont été précédées de fortes rafales de vent (cas des ouragans). Des volumes charriés par les plus fortes crues annuelles sont de l'ordre de plusieurs dizaines de m³.

En résumé, les ordres de grandeur des apports naturels annuels de matériaux à la retenue de la cote 140 du Bras David s'estiment à :

- 2 000 à 3 000 m³ de matériaux de granulométrie inférieure à quelques millimètres,
- 1 000 m³ de blocs rocheux, de graviers et de sable de granulométrie supérieure à plusieurs millimètres,
- plusieurs dizaines de m³ de matériaux composés d'arbres et débris végétaux divers.

6 CONCLUSION

L'analyse comparée des estimations théoriques et des mesures expérimentales de transport solide et de charriage acquises en 1989 et 1990 transposées sur la période d'observation hydrométrique des 17 années conduit aux ordres de grandeur suivants :

- transport de matières en suspension : 8 000 tonnes par an
- charriage de blocs et galets : 1 000 m³/an

Ces valeurs s'appliquent en année normale aux matériaux transportés ou charriés par le cours d'eau au travers d'une section naturelle du Bras David localisée aux environs de la cote 130. Le transport de matières en suspension d'environ 2.35 tonnes par hectare correspond à une grandeur normalement constatée sur des bassins versants tropicaux recouverts de forêt.

La sédimentation dans la retenue se traduira par le dépôt de matériaux de granulométrie de plus en plus fine de l'amont vers l'aval de la retenue. D'importantes quantités de matériaux seront évacuées par le déversoir à l'occasion des plus fortes crues, elles-mêmes les plus chargées. On peut en première approximation supposer que le volume annuel des matériaux déposés dans la cuvette sera de l'ordre de 2 000 m³ à 3 000 m³ par an.

Concernant l'apport de matériaux à la retenue par charriage, il se limitera à l'accumulation de blocs et de matériaux grossiers dans la partie amont de la retenue. Cet apport conduira à une modification régressive du profil en long du lit mineur du cours d'eau sur plusieurs centaines de mètres en amont de la retenue.

Le bassin versant du Bras David est pratiquement intégralement localisé dans la réserve du Parc National de la Guadeloupe. Bien que traversé par la route départementale 23, son actuel couvert forestier devrait être intégralement préservé. Il n'y a donc pas lieu de prévoir une augmentation des quantités de matières en suspension transportées, si des mesures sont prises pour prévenir les glissements de terrain et les éboulements dans les zones anthropiques du bassin.

En revanche, on retiendra que les plus fortes crues pourront charrier d'importants volumes d'arbres et de débris végétaux, notamment si celles-ci ont été précédées ou accompagnées de fortes rafales de vent (cas des cyclones). Les volumes charriés par les plus fortes crues annuelles sont de l'ordre de plusieurs dizaines, voire centaines, de m³.

En résumé, les ordres de grandeur des apports naturels annuels de matériaux à la retenue de la cote 140 du Bras David s'estiment à :

- 2 000 à 3 000 m³ de matériaux de granulométrie inférieure à quelques millimètres,
- 1 000 m³ de blocs rocheux, de graviers et de sable de granulométrie supérieure à plusieurs millimètres,
- plusieurs dizaines de m³ de matériaux composés d'arbres et débris végétaux divers.

Il conviendra de considérer avec prudence ces estimations issues de considérations théoriques et de l'interprétation de mesures expérimentales fragmentaires.

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANDREIEFF P., BOUYASSE P., WESTERCAMP D. - 1987
Géologie de l'Arc insulaire des Petites Antilles et évolution géodynamique de l'Est-Caraïbe.
Thèses université de Bordeaux I.
- ASHIDA K. - 1980
Field data collection and analysis for sediment yield and transport. In application of stochastic processes in sediment transport.
H.W. Shen and H. Kikkawa (editors) .Water Resources Publ., Colorado, ch.1-19.
- BENAUGES S. - 1981
Etude Géochimique et isotopique des eaux de rivières, sources froides et sources chaudes, aux abords du volcan de la Soufrière (GUADELOUPE).
Thèse 3^{ème} cycle, Université P et M Curie Paris VI, Laboratoire de Géologie Dyn., Sciences de l'eau et Centre Universitaire Antilles Guyane, 91 p et annexes.
- BERNARD J., COLMET-DAAGE F. - 1982
Pentes et modelés à 1/150.000. Atlas des Départements Français d'Outre-Mer. III La Guadeloupe.
Centre d'Etude de Géographie Tropicale de CNRS, Bordeaux- Talence.
- BOUVARD M. - 1983
"Ouvrages de dérivation et transports solides", La Houille Blanche, n°3/4, 1983
- BOUYASSE P., ANDREIEFF P., RICHARD M., BAUDRON J.C.,
MASCLE A., MAURY R.C., WESTERCAMP D. - 1985
Géologie de la ride d'Aves et des pentes sous-marines du Nord des Petites Antilles. B.R.G.M, mémoire n°93.
- BRUSCHIN J. ET TRAU W. - 1977
"Evaluation de la durée utile des observations du transport d'alluvions en suspension dans les rivières",
Symposium IAHS, AISH, publication n°122, 1977
- CABAUSSEL G - 1982
Climatologie. Planches 6 - 7 - 8. Atlas des départements français d'Outre-Mer. III La Guadeloupe. Centre
d'Etude de Géographie Tropicale du CNRS, Bordeaux - Talence.
- CABIDOUCHE Y.M - 1989
Gestion de la fertilité et conservation des sols dans la Caraïbe, face à leur diversité.
Colloque "Gestion Rationnelle des ressources naturelles et protection de l'environnement contre la désertification
Conseil général/INRA, Pointe-à-Pitre, 13 pages.
- CAILLEUX A., TRICART J. - 1950
Un type de solifluxion : les coulées boueuses. Rev. Géomorphol. Dyn. F2., 1: 4-49
- CAILLEUX A., TRICART J. - 1959
Initiation à l'étude des sables et des galets.
Centre Documentation Universitaire, Paris, 376 pages.
- CHAPERON P., L'HOTE Y., VUILLAUME G. - 1985
"Les ressources en eau de surface de la Guadeloupe", collection Monographies Hydrologiques ORSTOM, Editions
de l'ORSTOM, 1985
- CHEVALIER P. - 1989
Transports Solides
Cours à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1989.
- COLMET-DAAGE F. - 1970
Cartes des sols des Antilles à 1/20.000 Feuilles n° 31-32-33-34.
ORSTOM Centre des Antilles et Préfecture de la Guadeloupe.
- COLMET-DAAGE F. - 1981
Pédologie. Planche 10 et carte à 1/150 000.
Atlas des départements français d'Outre Mer. III La Guadeloupe.
Centre d'Etudes de Géographie Tropicale du CNRS, Bordeaux-Talence.
- COLOMBANI J. - 1988
Transferts de matières solides dans le cycle de l'eau.
ORSTOM, Montpellier, 38 pages.

- CORMARY Y. - 1971
"Problèmes de mesures de débit solide en suspension",
Faculté des Sciences de Montpellier, Hydrométéorologie, 1971.
- DANARD P. - 1989
"Revue bibliographique critique de la théorie de l'érosion éolienne",
Rapport de DEA, Université Paul Sabatier, Toulouse, 1989.
- DEPRATAERE C. - 1991
DEMIURGE : filière de production et de traitement de Modèles Numériques de Terrain à partir de cartes.
ORSTOM, Montpellier, janvier 1991
- DEPRATAERE C., MONIOD F. - 1991
Contribution des modèles numériques de terrain à la simulation des écoulements dans un réseau hydrographique
: exemple du bassin de Bras-David (Guadeloupe)
Laboratoire d'Hydrologie de l'ORSTOM, Montpellier, mai 1991
- DOREL J., ESCHENBRENNER S., FEUILLARD M. - 1971
Contribution à l'étude sismique de l'arc des Petites Antilles
Ann. Géophys., t 27, fascicule 3 : 295 -302.
- DOREL J. - 1978
Séismicité et structure de l'arc des Petites Antilles du Bassin Atlantique.
Thèse Universitaire P et M. Curie Paris VI.
- DUGAS F. - 1989
"Etude du transit sédimentaire par charriage dans le Rhône entre Beaucaire et Alès",
ORSTOM et C.N.R., Montpellier, 1989
- DUVOISIN J. - 1989
"Modèle réduit physique de la Rivière des Galets (La Réunion)",
La Houille Blanche, n°3/4, 1989.
- FEUILLARD M. - 1985
Macrosismicité de la Guadeloupe et de la Martinique.
Institut de Physique du Globe, Observatoire Volcanique de la Soufrière.
- FORTUNE F.H. - 1986
Cyclones et autres cataclysmes aux Antilles.
Editions La Masure, Paris 117 pages.
- GOGUEL J. - 1959
Glissements et éboulements dans la terre.
Coll. Encyclopédie de la Pléiade, Gallimard Paris: 1240-1247
- GOGUEL J. - 1967
Application de la géologie aux travaux de l'ingénieur.
Masson, Paris, 2e éd., 373 pages.
- GRAY D.M., WHIGHAM J.M - 1950
Peak flow rainfall events. In Handbook on the principles of hydrology, Gray D.M (edit.). water Inf.Center, Port
Washington, New York.
- GUISCAFRE J, KLEIN J.C., MONIOD F. - 1976
Les Ressources en eau de surface de la Martinique. Monographies hydrologiques, ORSTOM, Paris n°4 : 180 pages.
- HINNEWINKEL J.C., PETIT M. - 1980
Géomorphologie Planche 5 et carte à 1/150 000. Atlas des départements français d'Outre Mer. III la Guadeloupe.
Centre d'Etudes de Géographie Tropicale du CNRS, Bordeaux - Talence.
- HUMBERT M. - 1972
Les mouvements de terrain. Principes de réalisation d'une carte prévisionnelle dans les Alpes.
Bull. BRGM, III, 1 : 13-28.
- IBIZA D. - 1985
Enquête aux Antilles. Influence de la forme de l'averse sur la forme de la crue. Application : méthode globale de
prédétermination des crues rares.
Cahiers ORSTOM, service hydrologie. Vol XXI, n°3 : 99-131.

- INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL - 1980
Oro-hydrographie. Planche 3. Atlas des départements français d'Outre-Mer. III la Guadeloupe.
- INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL - 1987
Carte Bouillante, la Soufrière, Capesterre-Belle-eau n° 4605 G à 1/25 000. Paris.
- INSTITUT GEOGRAPHIQUE NATIONAL - 1988
Carte Pointe Noire, Sainte Rose, Lamentin, n°4602 G à 1/25 000. Paris.
- JEREMIE J.J - 1975
Contribution à l'étude géochimique des eaux souterraines froides de la Basse Terre
Guadeloupe, Petites Antilles. 39 pages.
- KLEIN J.C. - 1971
Recensement des inondations anciennes aux Antilles françaises (période antérieure à 1950).
ORSTOM, Mission hydrologique aux Antilles : 44 pages.
- KLEIN J.C. - 1971
Intensité extraordinaire de la précipitation du 26 novembre 1970 dans la région des Grands-Fonds de Guadeloupe.
Cahiers ORSTOM, service hydrologie, vol VIII, n°2 : 39-49.
- KLEIN J. - 1977
Etude hydrologique de la Grande Rivière à Goyaves.
ORSTOM. Paris.
- LASSERRE G. - 1961
La Guadeloupe la Nature et les Hommes. Thèse doctorat Etat, Bordeaux I vol 1 et 2, 420 pages.
- MASCARENHAS A. - 1988
Les formations volcano-sédimentaires de la marge de la Guadeloupe (Petites Antilles) : études minéralogiques et géochimiques. Thèse 3ème cycle Université de Perpignan.
- MORELL M., HOEPFFNER M., CALVEZ R. - 1986
Etude de l'écosystème du Grand-Cul-de-sac-Marin. Dynamique et qualité des eaux dans l'estuaire de la Grande Rivière à Goyaves. 17 pages et annexes.
- MORELL M., HOEPFFNER M., ROSSIGNOL - 1986
Les crues du 16 novembre 1986 sur la Côte-au-vent de la Basse-Terre. ORSTOM Pointe-à-Pitre
- MORELL M., JOUVE D., CALVEZ R. - 1989
Hydrogrammes de crue de la petite rivière à Goyaves à la côte 15 m. Centre ORSTOM de la Guadeloupe.
21 pages et annexes.
- MEUNIER M. - 1989
"Essai de synthèse des connaissances en érosion et hydraulique torrentielle", La Houille Blanche, n°5, 1989
- MOMPELAT P. - 1991
Mise en évidence de zones érodables par croisement d'images SPOT et de cartes thématiques numérisées - bassin versant de Bras-David
BRGM/ORSTOM -Pointe-à-Pitre, avril 1991
- NIZERY A., BRAUDEAU G., BONNIN J. - 1952
La station du Sautet pour l'étude de l'alluvionnement des réservoirs. EDF Services Etudes Recherches Hydrauliques.
- NOUH M. - 1988
Methods of estimating bed load transport rates applied to ephemeral streams.
Sediment budgets. Proc. Porto Alegre Symposium. IAHS, Publ. n° 174 : 107-115.
- OBSERVATOIRE VOLCANOLOGIQUE DE LA SOUFRIERE - 1988
Rapport d'activité - Guadeloupe.
Institut de Physique du Globe - Le Parnasse Saint-Claude. Guadeloupe.
- OLIVRY J.C, BRICQUET J.P, THIEBAUX J.P., SIGHA N. - 1988
Transport de matière sur les grands fleuves des régions intertropicales : les premiers résultats des mesures de flux particuliers sur le bassin du fleuve Congo.
Sediment Budgets. Proc. Porto Alegre Symposium. IAHS, 174 : 509-521.
- ORSTOM - 1983
"Ecosystèmes forestiers tropicaux d'Afrique",
ORSTOM-UNESCO, coll. recherches sur les ressources naturelles, XIX, 1983

- PASCALINE H. - 1980
Géochimie des roches et des eaux de sources chaudes du massif de la Soufrière de Guadeloupe.
Thèse 3^{ème} cycle, Université de Paris Sud
Centre Universitaire Antilles-Guyane Laboratoire de Volcanologie - Géochimie, Pointe-à-Pitre, 157 pages.
- PORTECOP J. - 1980
Végétation. Planche 9 à 1/150 000 . Atlas des Départements français d'Outre-Mer. III La Guadeloupe.
Centre d'Etudes de Géographie Tropicale du CNRS, Bordeaux - Talence.
- PLOCINICZAK F. - 1991
Application de modèles globaux au bassin versant du Bras David
ORSTOM - - Pointe-à-Pitre, juin 1991
- RAMETTE M. - 1988
"Morphologie et Transport solide de rivières à forte pente",
La Houille Blanche, n°3/4, 1988.
- REYNAL de SAINT-MICHEL A. - 1966
Feuilles de Basse-Terre et des Saintes. Carte géologique à 1/50 000, département de la Guadeloupe.
Ministère de l'Industrie Paris. Notice et 2 feuilles.
- ROCHE M. - 1972
Problèmes méthodologiques relatifs à la connaissance des crues.
Cahiers de l'ORSTOM, ser. Hydrol. vol IX, n°2 :53 - 63
- RODIER J. - 1976
L'analyse de l'eau. Editions Dunod, Paris vol I et II.
- ROSSIGNOL D. - 1990
Les régimes pluviographiques
ORSTOM - Pointe-à-Pitre, juin 1990
- SCET - 1987
"Pré faisabilité aménagement Cote 140, Bras David", 1987.
- SEMMELMANN F.R , BORDAS M.P , LANNA A.E. - 1988
Preliminary estimate of bed load using mean grain size distribution data. Sediment Budgets. Proc. Porto Alegre Symposium. IAHS, Publ. n° 174 : 293 - 299.
- SEURIN M. - 1982
Géologie . Planche 4 et carte à 1/150 000. Atlas des départements français d'Outre Mer. III La Guadeloupe.
Centre d'Etudes de Géographie Tropicale du CNRS, Bordeaux - Talence.
- STIELTJES L. , VARET Y. , WESTERCAMP D. - 1980
Evaluation des risques volcaniques dans les départements d'Outre-Mer.
26^{ème} comp. Int. Géol. Paris BRGM, Orléans.
- THOMAS R.B. - 1988
Measuring sediment yields of storms using PSALT.
Sediment Budgets. Proc. Porto Alegre Symposium. IAHS, Publ. n° 174 / 315 - 323.
- TOLA F. - 1989
"Etude du transport de galets par les torrents au moyen de traceurs radioactifs",
La Houille Blanche, N°3/4, 1989
- UNESCO - 1986
"Méthodes de calcul de la sédimentation dans les lacs et les réservoirs"
Contribution au Programme Hydrologique International
UNESCO, Paris, janvier 1986
- VAN OORT F., CABIDOUCHE Y.M - 1986
Quelques questions soulevées au sujet de la stratification des pyroclastites par une caractérisation plus fine des sols ferrallitiques.
Séminaire de volcanologie, Observatoire Volcanologique Basse-Terre Guadeloupe.
- VAN RIJN L.C. - 1984
Sédiment transport, part III : Bed forms and alluvial ranghness. J. Hydraulic Engineering , vol 110, 12 :
1733-1754.

VOGT J. - 1977

Archives et géologie appliquée : séismes, glissements, éboulements, érosion anthropique.
La Gazette des Archives, 3^{ème} trim. , nouvelle série, n° 98 : 131 - 146.

WESTERCAMP D. , TOMBLIN J.f. - 1979

Le Volcanisme récent et les éruptions historiques de la partie centrale de l'arc insulaire des Petites Antilles.
Bull. B.R.G.M. , sect. IV

WESTERCAMP D. , TAZIEFF H. - 1980

Guides géologiques régionaux Martinique, Guadeloupe, Saint- Martin, La Désirade . Masson (édit.) 135 pages.

WOOD P.A. - 1977

Sédiment transport in the Hope river, Jamaica : a tropical drainage basin characterized by seasonal flow. Symposium
Erosion Transports solides dans les eaux continentales.

IAHS - AISH. Public n° 122