

S.E.P.A.N.R.I.T.

VI^{ème} COLLOQUE

LES CATASTROPHES NATURELLES DANS LES REGIONS INTERTROPICALES

ETUDES SUR LES CYCLONES FAITES PAR L'ORSTOM AUX
ANTILLES ET EN NOUVELLE-CALEDONIE

par

J.C. KLEIN* et J.A. RODIER**

Les cyclones provoquent d'immenses dommages dans les régions où ils sévissent non seulement par l'extrême violence des vents qui les caractérisent mais encore par les pluies torrentielles qui les accompagnent et les crues qui en résultent.

L'ORSTOM s'est attaché plus particulièrement dans les territoires et les départements français d'Outre-Mer à la connaissance de ces crues, à celle des averses qui leur ont donné naissance et aux relations entre ces précipitations et les volumes de ruissellement dont ils sont responsables. Le but pratique de ces recherches est la mise au point de méthodologies de calcul des crues exceptionnelles de diverses fréquences pour la construction et l'aménagement d'ouvrages de toutes natures : ponts, aménagements hydroélectriques, protection de zones habitées etc ...

Les pluies cycloniques sont caractérisées par leur continuité dans le temps et l'extension relativement grande de la superficie couverte simultanément par les précipitations. Souvent l'intensité maximale instantanée n'est pas extrêmement élevée, bien moins que 100 mm/heure, mais pour certaines averses cycloniques elles peuvent être très fortes. Il est certain qu'au cours de la fameuse averse d'AURERE à la REUNION qui a totalisé 1 800 mm en 24 heures, l'intensité a dû certainement dépasser 100 mm/heure pendant une durée dépassant plus d'une heure. Par ailleurs, il est fréquent que les épisodes pluvieux se succèdent : on peut en observer trois par exemple de plusieurs jours chacun, en trois semaines. Le second et le troisième trouvent un sol complètement saturé. Enfin dans les îles présentant un relief important comme les ANTILLES ou la NOUVELLE-CALEDONIE, la hauteur de précipitation pour une averse donnée croît rapidement avec l'altitude et varie considérablement avec l'exposition.

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 39638

Cote : B

13 JUIN 1994

* Maître de Recherche Principal à l'ORSTOM
* * Président du Comité Technique d'Hydrologie de l'ORSTOM.

I. ACTIVITES DE L'ORSTOM :

L'effort de l'ORSTOM s'est exercé dans quatre directions :

- 1° L'aménagement de réseaux complémentaires de pluviomètres et de pluviographes en montagne ;
- 2° L'aménagement et l'exploitation d'un réseau de stations de jaugeage avec étude systématique des crues en période de cyclones ;
- 3° L'aménagement de bassins représentatifs pour l'étude fine de la distribution des précipitations dans l'espace (dans la mesure où on peut le faire) et dans le temps, et pour l'analyse des coefficients de ruissellement ;
- 4° Des enquêtes sur les cyclones observés dans le passé.

L'exploitation *systématique* de réseaux de pluviomètres de montagne est très coûteuse car elle exige de nombreuses visites de contrôle par un personnel qualifié donc de salaire élevé et elle s'intègre difficilement dans un réseau officiel de pluviomètres pour l'exploitation duquel les crédits sont toujours très faibles. C'est là un fait qu'on observe partout dans le monde et les améliorations à cette situation sont extrêmement lentes, encore plus en période de crise. Par contre pour un service hydrologique où le personnel est astreint à de nombreuses tournées il est plus facile d'ajouter comme activité supplémentaire l'observation d'un certain nombre de pluviomètres, de pluviomètres totalisateurs et de pluviographes. C'est ainsi qu'avec l'accord du Service Météorologique, l'ORSTOM exploite depuis 1955 un réseau de pluviomètres (totalisateurs ou non) et de pluviographes dans les régions montagneuses de NOUVELLE-CALEDONIE qui comporte actuellement 80 appareils, et une douzaine de pluviomètres et totalisateurs et autant de pluviographes dans les montagnes de MARTINIQUE et de GUADELOUPE depuis 5 à 25 ans selon les postes. Bien entendu en cas de cyclones une partie des appareils, surtout aux ANTILLES est mis hors d'usage ou débordé mais il en reste suffisamment en service pour que l'on dispose de l'essentiel des données pluviométriques et pluviographiques nécessaires. Ces données sont publiées localement dans des annuaires ou des rapports spéciaux à chaque cyclone.

Elles sont publiées quelquefois dans les Cahiers de l'ORSTOM.

La mesure directe des crues sur les stations de jaugeage en période de cyclones présente de sérieux problèmes. Il faut d'abord être à la station et y séjourner dans des conditions acceptables et ensuite disposer d'un équipement convenable c'est à dire d'un limnigraphe qui ne puisse pas être mis hors service dès le début de la crue, d'une station téléphérique de jaugeage utilisant un poids de lestage suffisant et ensuite d'une base de mesure aux flotteurs permettant d'apprécier les vitesses superficielles sur toute la largeur de la rivière dès qu'elles dépassent 5 à 6 m/s et qu'il n'est plus possible d'utiliser le moulinet. Ce problème a été à peu près résolu en NOUVELLE-CALEDONIE où les rivières sont relativement importantes et le charriage des blocs de rochers ou d'arbres flottants assez limité. A côté de la station de mesure est parfois installé un petit baraquement solidement amarré par des câbles d'aciers, que les hydrométristes rejoignent dès l'annonce du cyclone. Pour les stations relativement stables de cette île un cyclone suffit pour étalonner la courbe de tarage dans sa partie haute et on peut alors démonter le téléphérique et le remonter à une autre station car évidemment il n'est pas possible d'équiper la totalité des stations de jaugeages en même temps ce qui serait d'un coût prohibitif. Dès l'annonce des cyclones les diverses brigades de mesures sont ainsi réparties sur

un certain nombre de stations, les autres stations du réseau étant visitées dans le plus bref délai après la pointe de crue ce qui permet de faire quelques jaugeages de hautes eaux, de changer les feuilles de limnigraphes, de repérer la cote maximale si le limnigraphe a été endommagé. En même temps on procède à la visite des pluviomètres, pluviographes et totalisateurs.

Aux ANTILLES, les conditions sont plus difficiles, les rivières ayant en général de très petits bassins présentent leurs pointes maximales de crue peu de temps après le maximum de la pluie donc les conditions de travail à l'extérieur sont assez défavorables, en plus le nombre de blocs charriés et de débits flottants est très important et sur de si petits cours d'eau si les flotteurs naturels sont nombreux, il est par contre difficile de trouver de bonnes bases de mesures aux flotteurs. Pour ces diverses raisons, il n'a pas encore été possible de mettre au point aux ANTILLES la même organisation de mesures directes des débits de crues en période de cyclone. On se contente le plus souvent de relevés a posteriori : pente de la ligne d'eau, section mouillée, application de la formule de MANNING qui donne d'ailleurs des résultats fort imprécis pour de très petits cours d'eau. Ces relevés sont faits en même temps que la visite des appareils hydrométriques et pluviométriques semblable à celles qui sont faites en NOUVELLE-CALEDONIE après les cyclones avec cette différence que les tournées sont aux ANTILLES beaucoup plus courtes.

Les bassins versants représentatifs sont d'exploitation difficile, la grande variabilité des précipitations (de 1 800 à 5 000 mm par an à la DUMBEA) exigerait une très forte densité de pluviomètres, or ceux-ci ne peuvent guère être relevés qu'au cours de longues tournées pédestres qu'on ne peut pas renouveler tous les jours ou tous les 2 ou 3 jours comme on le fait sur les bassins représentatifs d'AFRIQUE ce qui limite le nombre de pluviomètres et de pluviographes, en outre les vitesses très fortes en crue à la station de jaugeage, l'importance des débris et des rochers charriés ne facilitent pas les jaugeages. En NOUVELLE-CALEDONIE un ensemble de 3 bassins représentatifs avait été aménagé celui de la COUVELEE (39,9 km²), de la DUMBEA Nord (32,2 km²) et de la DUMBEA-Est (56,2 km²), ils avaient été aménagés en 1963 pour l'étude de l'alimentation en eau de NOUMEA, on les a conservés en exploitation pour l'étude des cyclones et en définitive seul le bassin de la DUMBEA-Est est resté en exploitation. (Accessoirement le bassin représentatif de la Plaine des lacs a fourni des données intéressantes bien qu'il n'ait pas été prévu pour cela). La station est placée au barrage de la prise d'eau pour NOUMEA, ce barrage constitue une bonne section de contrôle où les extrapolations sont faciles.

Aux ANTILLES, un bassin représentatif d'altitude (3 000 à 5 000 mm de pluie par an) a été aménagé en 1964 sur la rivière du PLESSIS (2,27 km²) et exploité jusqu'en 1975. L'étalonnage a été réalisé à la fois par des jaugeages au moulinet et des jaugeages par dilution. D'autres bassins représentatifs ont été aménagés aux ANTILLES notamment en MARTINIQUE et en NOUVELLE-CALEDONIE mais leur objectif n'était pas l'étude des cyclones.

Sur ces bassins représentatifs il est possible d'évaluer le coefficient de ruissellement non sans peine d'ailleurs.

Une enquête sur archives a été effectuée aux ANTILLES, elle a permis d'avoir une idée de l'importance relative des crues de cyclones en certains points parfois depuis 300 ans.

En NOUVELLE-CALEDONIE, on a pu seulement recueillir des renseignements d'ordre plus ou moins qualitatif sur les niveaux atteints lors du cyclone de 1948 et pas au-delà.

II RESULTATS OBTENUS :

On a pu évaluer les débits et procéder à une estimation grossière des coefficients d'écoulement pour les plus importants cyclones aux ANTILLES depuis 1963, en NOUVELLE-CALEDONIE depuis 1959. Dans ce territoire il ne s'agit pas pour les débits de simples estimations mais de détermination relativement précises des débits de pointe puisqu'un certain nombre de stations ont fait l'objet de mesures de très hautes eaux.

Malheureusement une analyse statistique directe des valeurs maximales annuelles des débits ne peut pas conduire à une évaluation correcte des valeurs de très faible fréquence. Il faudrait pour cela disposer de séries d'observations de 70 à 100 ans pour commencer à faire une étude sérieuse alors que les observations directes ne portent que sur une vingtaine d'année.

Les enquêtes historiques ne permettent d'y remédier que dans une assez faible mesure. On peut par contre donner une valeur relativement sûre des débits de crues décennales.

Dans la série de tableaux, ci-dessous, on a présenté pour un certain nombre de stations de mesures représentatives : la superficie du bassin, le débit de crue décennal estimé en m^3/s , le débit spécifique correspondant en $l/s.km^2$, le débit maximum d'un des cyclones les plus récent ayant fait l'objet de mesures ou d'une bonne estimation, et le débit maximum observé.

En MARTINIQUE, on arrive aux résultats suivants. Les observations les plus complètes sont celles du cyclone DOROTHY (août 1970), elles correspondent généralement au maximum observé :

STATION	Superficie km ²	Débit de la crue décennale m ³ /s	Débit spéci. l/s.km ²	Débit DOROTHY m ³ /s	Crue maximale obs. m ³ /s	Crue maximale l/s.km ²	Période de retour
Riv. BLANCHE Pt ALMA	4,3	70	16 300	105-130	105-130	{ 24 000 30 000	50 à 100 ans
LEZARDE	13,0	153	11 800	265-320	265-320	{ 21 000 24 000	100 ans
MADAME	14,3	128	9 000	250-300	250-300	{ 18 000 21 000	100 ans
CAPOT à MARIE AGNES	16,5	170	10 300	185-200	275	16 700	60 ans
CAPOT à St BABIN	34,1	285	8 350	350-400	480	14 100	60 ans
LORRAIN	25,0	285	11 400	400-500	400-500	{ 16 000 20 000	150 ans
LEZARDE au SOUDON	62,5	366	5 860	725-875	725-875	{ 11 600 14 000	100 à 150 ans

Depuis 1724, on a identifié 4 crues vraiment exceptionnelles : celle du 9 au 11 novembre 1724, celles du 23 avril 1865, du 2 décembre 1895 et du 20 au 21 août 1970. Il est peu probable qu'une autre crue d'une telle importance ait échappé à cette enquête, mais ce n'est pas rigoureusement impossible. On ne peut pas classer ces quatre événements catastrophiques mais il est prudent d'admettre pour le moment qu'au moins deux d'entre eux ont produit des débits plus élevés que ceux du cyclone DOROTHY.

A l'aide des relevés pluviométriques et de l'enquête historique, on a pu pour un certain nombre de stations procéder à une étude statistique de caractère qualitatif pour laquelle ont été calculés les débits spécifiques pour les périodes de retour : 0,25, 0,50, 1 an, 2 ans, 5 ans, 10 ans, 20 ans, 50 ans et 100 ans. En divisant ces débits spécifiques par le débit spécifique de la crue annuelle, on trouve pour les diverses stations, à quelques variantes près correspondant à des conditions physiographiques nettement différentes des conditions moyennes, les valeurs adimensionnelles suivantes :

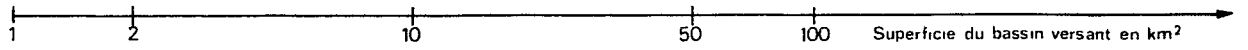
Temps de récurrence	0,25	0,50	1	2	5	10	20	50	100
Débits adimensionnels	0,48	0,68	1	1,45	2,20	2,75	3,50	4,50	5,30

Cette étude a permis de mettre au point le graphique suivant pour la détermination du débit de pointe de fréquence donnée dans des conditions moyennes.

En GUADELOUPE : Les recherches historiques et l'interprétation ont été moins poussées qu'en MARTINIQUE, puisque c'est à l'occasion de la mise au point de la monographie hydrologique de la MARTINIQUE qu'elles ont été faites et que la même étude pour la GUADELOUPE commence seulement. Cependant on peut donner les principaux résultats dans le tableau ci-dessous :

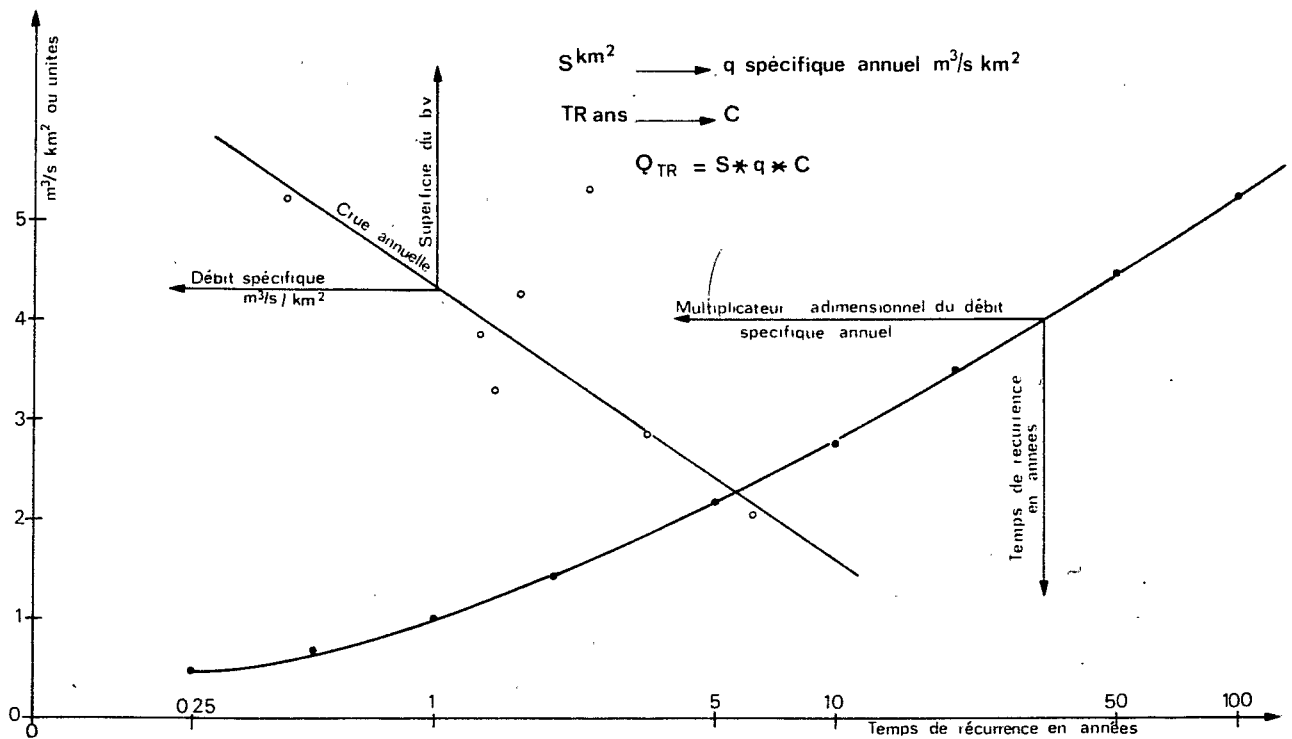
STATION	Superficie km ²	Crue décennale débit en m ³ /s	Débit sp. en l/s.km ²	Maximum observé	Débit sp. en l/s.km ²	Période de retour
GRANDE GOYAVE	54,3	410	7 500	600-1956	11 000	100 ans ?
GRANDE GOYAVE	37,5	243	7 500	{ 1956 ? 450-1963	8 000	20 ans ?
VIEUX HABITANTS	8,9	62	7 000	{ 1956 ? 85-1963	9 500	50 ans
GRAND CARBET	7	70	10 000	92-1963	13 000	50 - 75 ans

Les autres résultats obtenus lors d'études particulières d'aménagements seront repris dans la monographie hydrologique de la GUADELOUPE. On notera en particulier les observations et estimations faites sur les petits bassins calcaires des zones sèches du département (Iles de GRANDE-TERRE et de MARIE-GALANTE, 1 200 à 1 900 mm par an) qui sont elles aussi affectées par les cyclones.



Département de la MARTINIQUE

DETERMINATION DU DEBIT DE POINTE DE CRUE



Les précipitations exceptionnelles y sont plus faibles que sur les régions montagneuses des Petites Antilles, mais pas tellement (à fréquence égale diminution de l'ordre de 40 %). Les crues sont bien moins élevées dans l'absolue (pour un bassin de 15 km² le débit de pointe décennal sera 4 ou 5 fois plus faible que sur un bassin montagneux de même superficie, et le débit centennal 2,5 ou 3 fois plus faible). Mais ces crues cycloniques, affectant des rivières à écoulements intermittents, surprennent et présentent un risque réel car leurs débits croissent rapidement pour les crues exceptionnelles.

En NOUVELLE-CALEDONIE c'est le cyclone ALLISON (mars 1975) qui a donné lieu aux mesures les plus complètes, les débits qu'il a produit sont certainement de fréquence très supérieure à celles qui correspondent au cyclone DOROTHY en MARTINIQUE. Les bassins étudiés sont de superficie nettement plus élevées. On a obtenu les résultats présentés dans le tableau ci-contre :

RIVIERE	Superficie km ²	Débit de la crue décennale m ³ /s	Débit spéc. 1/s.km ²	Débit ALLISON m ³ /s	Débit max. m ³ /s	Débit spéc. 1/s.km ²	Période de retour
OUENGI	210	(1 500)	(7 150)				
BOGUEN	114	(1 500)	(13 000)	1 800	((2 300)) 1948	((20 000))	{ 30 50 ans ?
DIAHOT	292	((1 000))	3 400	765	((2 300)) 54-53	((7 900))	30 ans ?
DUMBEA-Est	56	700	12 500	540	1 150 68-69	((20 500))	{ 20 à 30 ans
PONENHOUE	271	((2 400))	((8 000))		((3 750)) 48	((13 800))	{ 30 à 50 ans
TCHAMBA	74	((850))	((11 500))	1 450	1 450 75	19 500	50 ans ?
TIMAKA	326	((3 000))	((9 200))	(6 500)	(6 500) 75	(20 000)	30 ans
TIPINDJE	247	((2 000))	((8 100))	5 000	5 000 75	20 000	50 ans ?
Riv. des LACS	69	((400))	((5 800))	347	600 67-68	8 700	{ 20 30 ans
OUAÏENNE	324	((4 000))	12 400				

La Rivière des Lacs voit sa crue amortie par les nombreux plans d'eau qui parsèment son bassin. Pour les autres rivières, les variations d'exposition et de pente conduisent à une certaine dispersion autour de la courbe décroissante du débit spécifique de crue décennale en fonction de la superficie. On peut toutefois deviner cette courbe moyenne qui partirait de 13 000 1/s.km² pour 50 km² pour aboutir à 6-7000 1/s.km² pour 300 km². Les bassins de la OUAÏENNE et de la TIWAKA sont très bien arrosés sur la cote Est et ont une forte pente ce qui n'est pas le cas du DIAHOT. La même courbe moyenne pour la MARTINIQUE conduirait à un débit spécifique de 2 300 1/s.km² pour un bassin de 50 km² soit le tiers du débit de la NOUVELLE-CALEDONIE.

Pour des bassins de 27,5 à 39,5 km la crue décennale varie en débits spécifiques de 12 500 à 18 000 l/s.km² (Rivière des MARSOUSINS) ceci tient à des pentes plus fortes et des précipitations cycloniques plus abondantes en 24 heures.

Les coefficients de ruissellement doivent être considérés comme le rapport entre le ruissellement mesuré à la station de mesure et la hauteur de précipitations moyennes telle qu'elle résulte des mesures dans les pluviomètres lesquelles peuvent être notablement inférieures à la pluie au sol. On trouve malgré des couvertures forestières importantes en montagne des coefficients très élevés qui sont parfois surestimés pour la raison citée plus haut. Mais ces valeurs sont précieuses car elles peuvent permettre théoriquement une estimation des crues à partir des relevés pluviométriques ; malheureusement les longues séries pluviométriques valables n'existent le plus souvent que pour des postes en plaine. Il faut alors calculer les précipitations en altitude à partir des précipitations en plaine ce qui est quelque peu hasardeux. Des résultats statistiques intéressants ont cependant pu être dégagés à partir des observations faites aux pluviographes d'altitude de MARTINIQUE et on espère aboutir d'ici peu à des résultats analogues en GUADELOUPE.

On a pu dégager quelques valeurs du coefficient d'écoulement en période de grands cyclones. En MARTINIQUE, les précipitations des cyclones DOROTHY, BEULAH et EDITH ont atteint : jusqu'à 403 mm en 24 heures pour la station du MORNE-BELLEVUE lors du cyclone DOROTHY et 450 mm en 48 heures pour la même station lors du cyclone BEULAH. L'étude d'ensemble des crues cycloniques conduit pour la crue centennale à un coefficient de ruissellement de 90 % pour un bassin de 5 km² (hauteur précipitée 67 mm en 0,6 heure) et de 51 % pour un bassin de 50 km² (hauteur précipitée 197 mm en 2 heures).

En GUADELOUPE, on a trouvé des précipitations maximales de 460 mm en 24 heures. Pour la crue centennale on trouverait pour la GRANDE RIVIERE à GOYAVES (54 km²) un coefficient de ruissellement compris entre 70 et 80 %, on trouverait certainement encore un peu plus pour le GRAND CARBET.

En NOUVELLE-CALÉDONIE au cours du cyclone ALLISON (7-8 mars 1975) les précipitations maximales ont atteint à un poste de la DUMBEA-Est jusqu'à 787,5 mm entre le 5 et le 9 mars, dont 569 mm en 24 heures. L'intensité maximale n'a pas dépassé 75 mm/heures à ce poste, ce qui est bien caractéristique d'une averse cyclonique. Le cyclone BEATRICE en janvier 1959 observé de façon moins complète avait donné lieu à de très fortes précipitations plus de 500 mm en 24 heures à un plus grand nombre de postes pluviométriques donc sur une superficie plus grande mais les crues n'avaient pas été étudiées de façon aussi systématique.

Pour le cyclone ALLISON, le "coefficient d'écoulement" a atteint 90 % sur la OUENGLI (240 km²) 86 % sur la Rivière des Lacs (69 km²) et 97 % sur la DUMBEA-Est (56 km²) valeurs nettement plus fortes que celles observées en MARTINIQUE. Il est vrai que la densité des pluviomètres sur la DUMBEA-Est n'est pas suffisante pour arriver à une valeur précise des précipitations. Mais on doit répéter que ces chiffres sont calculés à partir des pluies dans les pluviomètres et non par rapport à la pluie au sol qui lors du cyclone ALLISON était accompagné de vents violents. Une sous-estimation moyenne de 20 % n'aurait rien d'in vraisemblable. Dans ces conditions, il semble que pour des précipitations cycloniques plus importantes que celles observées depuis 1948 il ne serait pas déraisonnable d'envisager un coefficient d'écoulement de 100 % ou 105 % par rapport aux valeurs trouvées à partir des pluviomètres pluviographes et totalisateurs.

CONCLUSION :

On commence à disposer d'un ensemble de données non négligeables sur les précipitations et les crues cycloniques des ANTILLES et de la NOUVELLE-CALEDONIE on a pu même fournir des normes de calcul très provisoires pour la MARTINIQUE concernant la crue centennale. Suivant l'importance des précipitations on arrive pour une même fréquence à des débits spécifiques très différents entre ces deux régions du monde, la différence serait encore plus forte si on y comprenait le Département de la REUNION, mais toutes ces extrapolations sont encore très hasardeuses et il serait du plus haut intérêt de continuer l'exploitation des réseaux pluviométriques et hydrométriques en poursuivant l'observation systématique et l'interprétation exhaustive des averses et des crues en période cyclonique ce qui exige une organisation parfaitement au point des organismes responsables de ces réseaux et les moyens matériels de les mettre en oeuvre.