

REPUBLIQUE DU NIGER
MINISTERE DE L'HYDRAULIQUE ET
DE L'ENVIRONNEMENT

DIRECTION DES RESSOURCES EN EAU

COMITE INTERAFRICAIN
D'ETUDES HYDRAULIQUES

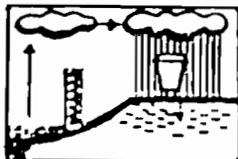
CIEH.

ETUDE DU RUISSELLEMENT URBAIN A NIAMEY

RAPPORT GENERAL

TOME 3: INTERPRETATION DES DONNEES

C. BOUVIER



INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE SCIENTIFIQUE

POUR LE DEVELOPPEMENT EN COOPERATION

MISSION DE L'ORSTOM AU NIGER

ORSTOM

SOMMAIRE

INTRODUCTION

1. Analyse des données pluviographiques
 - 1.1. Etablissement des fichiers opérationnels
 - 1.2. Analyse statistique des données
 - 1.2.1. Courbes hauteur-durée-fréquence
 - 1.2.2. Etude statistique des durées des averses et des corps d'averses
 - 1.2.2.a. Durée des corps d'averses
 - 1.2.2.b. Durée des averses
 - 1.2.3. Distribution des hauteurs des corps d'averses sachant leur durée
 - 1.2.4. Distribution des durées des corps d'averses sachant leur hauteur
 - 1.2.5. Forme des hyétogrammes des corps d'averses
 - 1.2.5.a. Hyétogrammes moyens
 - 1.2.5.b. Hyétogrammes types
 - 1.2.6. Distribution des hauteurs des corps d'averses
2. Recherche d'une relation pluie totale-lame ruisselée
 - 2.1. Description des bassins
 - 2.1.1. Types d'habitat
 - 2.1.2. Coefficients d'imperméabilisation
 - 2.1.3. Récapitulatif
 - 2.2. La qualité des données disponibles
 - 2.2.1. Généralités sur l'ensemble des bassins
 - 2.2.1.a. Commentaires sur les conditions de mesure
 - 2.2.1.b. Analyse des crues les plus importantes
 - 2.2.2. Critique des données bassin par bassin
 - 2.3. Interprétation des données
 - 2.3.1. Rappels sur le modèle
 - 2.3.2. Analyse des données acquises sur les bassins
 - 2.3.3. Conclusion
3. Estimation de la distribution des débits de pointe de crue aux stations S1, S2, S3
 - 3.1. Les fonctions $K(T_p)$

- 3.2. Estimation des débits de pointe de crue
 - 3.2.1. Comparaison des débits spécifiques d'une fréquence donnée et de l'intensité moyenne de même fréquence de la hauteur maximale de pluie tombée pendant le temps de concentration du bassin au cours d'une averse
 - 3.2.2. Comparaison entre le débit de pointe de crues de fréquence décennale et le débit maximum de la crue causée par l'averse de hauteur journalière décennale

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXE 1 Equations du modèle en tenant compte du stockage superficiel sur les zones C3.

ANNEXE 2 Calculs des lames ruisselées sur les bassins S1, S2 et S3.
Tableaux des résultats.

INTRODUCTION

Les méthodes permettant d'étudier le ruissellement en milieu urbain s'appuient généralement sur des hypothèses restrictives relatives à :

- la durée de la pluie/temps de concentration du bassin,
- la proportion de surfaces imperméables et leur répartition par rapport au réseau d'assainissement

qui ne conviennent généralement pas aux cas des villes africaines.

La méthode développée par M. LE BARBE, dans le cadre de son étude sur le ruissellement urbain à OUAGADOUGOU, semble donner de meilleurs résultats pour le calcul d'un débit maximum de fréquence donnée : nous l'utiliserons dans le présent rapport et nous en rappelons ici les principes généraux (1):

après avoir défini la relation

$$Q_{MASP} = LR \cdot K(T_p)$$

dans laquelle Q_{MASP} représente le débit spécifique maximum

LR la lame ruisselée

$K(T_p)$ une fonction décroissante de la durée de l'averse T_p

on en déduit la densité de probabilité f des Q_{MASP}

$$f(Q_{MASP}) = \int_D \frac{1}{K(T_p)} g(K(T_p)) \cdot h\left(\frac{Q_{MASP}}{K(T_p)}\right) d(K(T_p)) \quad (1)$$

où D représente le domaine de variation des $K(T_p)$

g la distribution des $K(T_p)$ que l'on déduit de celle de T_p

h la distribution de LR , sachant $K(T_p)$

Cette distribution des débits est donc calculée à partir des pluies de durée quelconque.

Si on connaît la relation $LR = f_{T_p}(P)$ qui relie la lame ruisselée à la pluie moyenne P de durée T_p , l'équation (1) devient :

$$f(Q_{MASP}) = \int_D \frac{1}{K(T_p)} g(K(T_p)) \cdot h\left(\frac{f_{T_p}(P)}{K(T_p)}\right) d(K(T_p))$$

La distribution des QMASP, sur un bassin quelconque, peut alors être déterminée à partir de la seule information pluviographique.

Les premiers objectifs de ce rapport seront donc de définir une référence en ce qui concerne $K(T_p)$ et $LR = f_{T_p}(P)$ à partir des bassins sur lesquels ont été effectuées des mesures de ruissellement.

Pour évaluer la distribution des pointes de crue, il faut ensuite procéder à une analyse des données pluviographiques existantes pour :

- déterminer la distribution des durées des corps d'averses,
- déterminer, pour chaque classe de durée, la distribution des hauteurs des corps d'averses.

1. ANALYSE DES DONNEES PLUVIOGRAPHIQUES

1.1. Etablissement des fichiers opérationnels

Nous disposions initialement de la chronique d'enregistrements du poste de NIAMEY-AEROPORT pour les périodes 1946, 1952-1978, 1980-1983.

L'appareil utilisé en 1946 était un pluviographe à siphon dont les résultats ne sont pas toujours fiables. Les années 1952, 1962, 1968 présentent des lacunes importantes.

La totalité des enregistrements de 1952 à 1955 a été effectuée en rotation hebdomadaire, et ne doit pas être utilisée pour l'étude des pluies de durée inférieure à 30 minutes.

Enfin, les enregistrements des années 1980 à 1983 sont de qualité très médiocre (changement de feuille pendant l'averse, nombreuses lacunes).

Nous avons donc été conduits à constituer deux échantillons distincts en fonction des pas de temps d'étude :

- $T_p < 30$ minutes, 21 années : 1956-1961, 1963-1967, 1969-1978

Il est rare de ne pas trouver quelques lacunes dans chacune de ces 21 années, mais leur répartition semblant être aléatoire, nous pouvons considérer que cet échantillon est suffisamment représentatif.

- $T_p \geq 30$ minutes, 25 années : 1952-1961, 1963-1967, 1969-1978

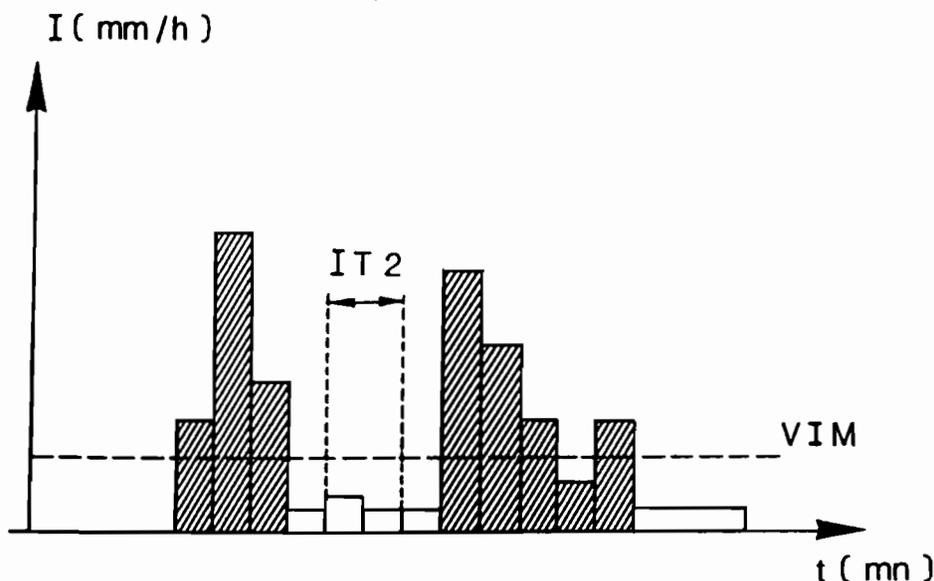
Pour ces pas de temps, nous avons pu utiliser les enregistrements effectués en rotation hebdomadaire. L'année 1952, malgré de nombreuses lacunes, a été conservée en raison de la présence de l'averse exceptionnelle du 28 août, qui présente les caractéristiques suivantes:

71,0 mm en 30 minutes
88,9 mm en 60 minutes
94,5 mm en 90 minutes
112,4 mm en 180 minutes
127,5 mm en 290 minutes (fin de l'averse)

la pluie journalière étant de 173,1 mm

A partir des fichiers RPI ainsi corrigés, ont été individualisées les averses, le critère d'individualisation étant le suivant : si les intensités successives n'ont pas excédé la valeur VIM au cours d'une durée totale supérieure à la durée limite IT2, l'averse antérieure est considérée comme indépendante de l'averse future.

Le schéma suivant représente 2 averses ainsi individualisées (zones hachurées):



A partir de ces averses, on peut constituer deux fichiers : un fichier "hyetogramme des averses" et un fichier "hauteurs maximales tombées au cours d'une averse pendant différentes durées" (5, 10, 15, 30, 45, 60, 90, 120 et 180 minutes).

Nous avons donné deux valeurs successives à VIM et IT2 :

a) - VIM = 2 mm/h et IT2 : 90 minutes.

Les averses ainsi individualisées représentent les averses dans leur intégralité. Le nombre d'averses obtenu est de 928 dont 620 de hauteur supérieure à 5 mm et de durée supérieure à 5 minutes.

b) - VIM = 5 mm/h et IT2 : 15 minutes.

On isole ici la partie de forte intensité de chaque averse. On a vérifié que pour la plupart des averses, ce critère permettait de séparer corps et traîne d'averse. Nous appellerons donc corps d'averses les averses ainsi individualisées. Le nombre de corps d'averses ainsi obtenu est de 1046 dont 597 de hauteur supérieure à 5 mm et de durée supérieure à 5 minutes.

Nous avons donc, en définitive, constitué 4 fichiers sur lesquels ont porté les traitements statistiques :

- le fichier "HYETO 1" :

Fichier des hyetogrammes des corps d'averses de hauteur supérieure à 5 mm et de durée supérieure à 5 minutes.

- le fichier "HYECL 1" :
Fichier des "hauteurs-durée" des corps d'averses.
- le fichier "HYETO 2" :
Fichier des hyétogrammes des averses dans leur intégralité de hauteur supérieure à 5 mm et de durée supérieure à 5 minutes.
- le fichier "HYECL 2" :
Fichier des "hauteurs-durée" des averses dans leur intégralité.

1.2. Analyse statistique des données

1.2.1 Courbes hauteur, durée, fréquence

A partir des fichiers HYECL, un programme ajuste aux distributions des hauteurs de pluies tombées durant différentes durées (ici 5, 10, 30, 45, 60, 90, 120 et 180 minutes) trois types de lois : Galton, Goodrich, Fréchet. Nous avons utilisé ce programme, d'abord en considérant pour chaque durée T toutes les averses y compris celles de durées inférieures à T, ensuite en ne considérant, pour les corps d'averses uniquement, que celles de durée supérieure ou égale à T.

Des trois lois, c'est celle de Goodrich qui a donné les meilleurs ajustements. Rappelons qu'une loi de Goodrich tronquée s'écrit :

$$F(x) = F_0 \cdot \exp\left(-\left(\frac{x - x_0}{s}\right)^\delta\right)$$

avec $F(x)$ = fréquence au dépassement de x , cette fréquence est exprimée de la même façon que F_0 (pourcentage ou nombre de fois par année).

F_0 = paramètre de tronquage qui représente la fréquence de l'événement ($x > x_0$) dans le premier type d'ajustement et celle de l'événement ($x > x_0$ et $T_p > T$), T_p étant la durée du corps d'averse, dans le second type d'ajustement.

x_0 = paramètre de position, c'est la valeur minimale pouvant être prise par la variable.

S = paramètre d'échelle.

δ = paramètre de forme.

Les ajustements sont faits en ne considérant que les hauteurs de pluie supérieures à un seuil ST , variable selon les durées.

On trouvera dans les tableaux n° 1 à 3 les valeurs des différents paramètres des lois de Goodrich ajustées, ainsi que certaines valeurs caractéristiques des distributions pour :

tableau n° 1 : les averses dans leur intégralité (ajustements faits en considérant toutes les averses)

tableau n° 2 : les corps d'averses (idem)

tableau n° 3 : les corps d'averses, (ajustements faits en ne considérant, pour une durée T, que les corps d'averses de durée supérieure ou égale à T)

	5 minutes	10 minutes	15 minutes	30 minutes	45 minutes	60 minutes	90 minutes	120 minutes	180 minutes
<i>Paramètres des Lois de Goodrich ajustées</i>									
ST	5	8	10	12	12	12	20	20	20
Fo	51,8	28,8	19,9	24,6	29,7	35,0	27,3	25,6	26,8
S	2,35	6,78	11,33	12,29	12,03	11,24	14,79	16,68	17,21
δ	1,14	0,82	0,68	0,86	0,95	1,02	0,92	0,87	0,89
xo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R	<i>Valeurs caractéristiques (en mm)</i>								
↓									
0.5	9,0	15,2	19,9	27,1	30,8	33,0	35,7	37,7	40,2
1	11,1	18,4	23,8	33,5	38,3	41,2	44,4	46,5	49,6
2	13,4	21,4	27,5	39,6	45,6	49,4	52,9	55,1	58,8
5	16,5	25,4	32,0	47,5	55,3	60,4	68,9	66,1	70,7
10	19,0	28,3	35,2	53,4	62,5	68,7	72,1	74,3	79,5
20	21,6	31,3	38,4	59,2	69,8	77,1	80,3	82,3	88,3
50	24,5	34,9	42,3	66,5	72,4	88,1	91,0	92,8	99,7

- ST = seuil de troncature (mm)
 Fo = paramètre de tronquage (nb de fois par année)
 S = paramètre d'échelle (mm)
 δ = paramètre de forme
 xo = paramètre de position
 R = période de récurrence (en années)

TABLEAU 1

POSTE DE NIAMEY AERO
 DISTRIBUTIONS DES HAUTEURS DE PLUIES TOMBÉES
 PENDANT DIFFÉRENTES DURÉES

Averses dans leur intégralité.
 Ajustements faits en considérant toutes les averses.

	5 minutes	10 minutes	15 minutes	30 minutes	45 minutes	60 minutes	90 minutes	120 minutes	180 minutes
<i>Paramètres des Lois de Goodrich ajustées</i>									
ST	5	8	10	12	12	12	20	20	20
Fo	65,1	32,2	21,8	25,9	29,1	30,4	29,4	26,8	24,0
S	2,00	6,34	10,78	11,96	12,24	12,41	13,21	14,52	15,97
δ	1,20	0,85	0,70	0,87	0,94	0,97	0,98	0,94	0,90
xo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
R	<i>Valeurs caractéristiques (en mm)</i>								
↓									
0.5	8,9	15,2	19,9	27,1	30,8	32,8	34,6	35,5	36,1
1	11,1	18,4	23,8	33,4	38,2	41,0	43,3	44,3	45,0
2	13,3	21,4	27,5	39,6	45,5	49,0	52,0	53,0	53,7
5	16,5	25,4	32,0	47,5	55,0	59,7	63,3	64,3	65,0
10	19,3	28,4	35,4	53,3	62,2	67,6	71,9	72,8	73,3
20	22,3	31,4	38,6	59,2	69,4	75,7	80,5	81,2	81,6
50	26,0	35,1	42,7	66,6	78,8	86,2	91,8	92,3	92,5

ST = seuil de troncature (mm)

Fo = paramètre de tronquage (nb de fois par année)

S = paramètre d'échelle (mm)

δ = paramètre de forme

xo = paramètre de position

R = période de récurrence (en années)

TABLEAU 2

POSTE DE NIAMEY AERO
DISTRIBUTIONS DES HAUTEURS DE PLUIES TOMBEES
PENDANT DIFFERENTES DUREES

Corps d'averses. Ajustements faits en considérant tous les corps d'averses.

	5 minutes	10 minutes	15 minutes	30 minutes	45 minutes	60 minutes	90 minutes	120 minutes	180 minutes
<i>Paramètres des Lois de Goodrich ajustées</i>									
ST	5	8	10	12	12	12	20	20	
Fo	48,1	25,3	20,9	12,5	8,1	5,3	2,4	0,91	
S	2,23	6,62	9,27	14,22	15,65	17,31	17,32	26,08	
δ	1,16	0,80	0,78	0,81	0,90	0,93	1,00	0,54	
xo	0,417	0,833	1,25	2,5	3,75	5,0	7,5	10,0	
R ↓	<i>Valeurs caractéristiques (en mm)</i>								
0.5	8,9	14,8	19,3	25,7	25,0	21,9	10,6		
1	11,1	17,8	23,3	32,7	34,3	32,9	22,6		
2	13,4	20,7	27,1	39,2	43,3	43,5	34,6		
5	16,5	24,4	32,0	47,5	54,9	57,2	50,5	24,9	
10	19,0	27,1	35,5	53,6	63,6	67,4	62,5	39,6	
20	21,6	29,8	39,1	59,5	72,1	77,6	74,6	47,4	
50	24,7	33,2	43,5	67,0	83,3	90,6	90,6	54,0	61,7

- ST = seuil de tronçature (mm)
Fo = paramètre de tronçage (nb de fois par année)
S = paramètre d'échelle (mm)
δ = paramètre de forme
xo = paramètre de position
R = période de récurrence (en années)

TABLEAU 3

POSTE DE NIAMEY AERO
DISTRIBUTIONS DES HAUTEURS DE PLUIES TOMBÉES
PENDANT DIFFÉRENTES DURÉES

Corps d'averses. Ajustements faits en ne considérant, pour une durée T, que les corps d'averses de durée supérieure ou égale à T

A partir de ces ajustements, nous avons tracé les jeux de courbes hauteur, durée, fréquence que l'on trouvera représentées sur les figures n°1 et n°2 .

On peut faire, sur ces courbes, les remarques suivantes :

- pour les premiers types d'ajustements, les courbes hauteur-durée des averses dans leur intégralité et des corps d'averses pour une fréquence donnée sont identiques jusqu'à la durée 60 minutes environ, puis la courbe des corps d'averses est en dessous de celles des averses dans leur intégralité. Cela s'explique de la façon suivante : jusqu'à soixante minutes, les traînes d'averses n'ont pas d'influence sur les distributions et à partir de soixante minutes, les corps d'averses de durée supérieure au temps T deviennent de plus en plus rares ;

- les courbes tracées pour les corps d'averses, en ne considérant pour une durée T que les corps d'averses de durée supérieure ou égale à T, présentent un maximum puis décroissent. Cela s'explique également par le fait que plus T est grand, plus les pluies de durées supérieures à T sont rares. Le maximum a lieu pour un temps voisin de 60 minutes, les formules classiques pour le dimensionnement des ouvrages pour des bassins de temps de concentration supérieur à 60 minutes risquent donc d'être complètement inadéquates.

- pour toutes les récurrences définies, un accroissement assez brutal des hauteurs de pluie (averses ou corps d'averses) intervient entre les pas de temps 15 et 30 minutes. Ceci est dû au fait que les hauteurs de pluie tombées pendant un intervalle inférieur à 30 minutes ont été étudiées statistiquement à partir d'un échantillon ne comprenant que les relevés pluviographiques enregistrés en rotation journalière, parmi lesquels ne figure pas la pluie exceptionnelle du 28/08/52.

Il serait donc prudent, pour utiliser ces courbes en deçà d'un pas de temps de 30 minutes, d'extrapoler à partir des valeurs obtenues pour des pas de temps supérieur à 30 minutes.

PLUVIOGRAPHIE DE NIAMEY AERO

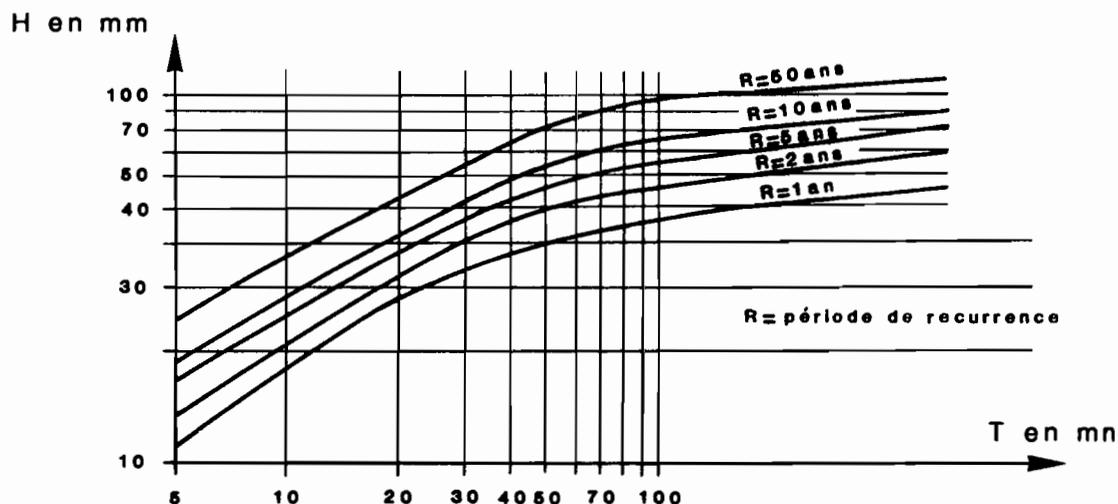
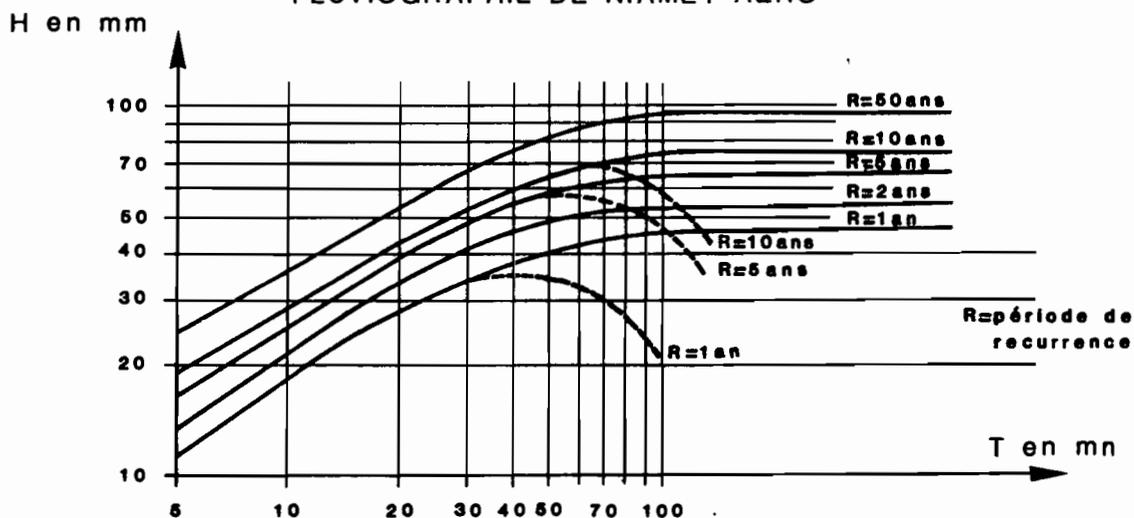


Fig 1: Courbes hauteurs, durée, fréquence Averses dans leur intégralité

PLUVIOGRAPHIE DE NIAMEY AERO



- Courbes déterminées en considérant pour une durée donnée tous les corps d'averse
- Courbes déterminées en considérant pour une durée T donnée que les corps d'averse de durée supérieure ou égale à T

Fig.2 : Courbes hauteurs, durée, fréquence. Corps d'averses

1.2.2 Etude statistique des durées des averses et des corps d'averses

1.2.2.a. Durée des corps d'averses

On a pu ajuster une loi de Galton tronquée à la distribution des durées des corps d'averses (voir fig. n°3).

Rappelons qu'une loi de Galton tronquée a pour expression :

$$F(x) = F_0 \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^u u^{-1} \cdot \exp\left(-\frac{(\text{Log } u)^2}{2\sigma^2}\right) du$$

avec

$F(x)$ = fréquence au dépassement de x , exprimé de la même façon que F_0 .

F_0 = paramètre de tronquage, c'est ici la fréquence théorique de l'évènement "averse".

σ = paramètre de forme.

$$u = \frac{x - x_0}{s}$$

avec x_0 = paramètre de position

s = paramètre d'échelle

Les paramètres de la loi ajustée sont :

$$F_0 = 41,84 \text{ fois par an}$$

$$\sigma = 0,847$$

$$s = 22 \text{ minutes}$$

$$x_0 = 0 \text{ minute}$$

On trouvera dans le tableau n°4 les valeurs de $F(x)/F_0$ pour des durées comprises de 0 à 300 minutes ainsi que l'effectif de chaque classe de durée, exprimé en nombre de fois par année, les classes étant déterminées de 5 en 5 minutes.

On remarquera que les corps d'averses sont dans l'ensemble de courte durée puisque 50 % ont une durée supérieure à 22 minutes, 10 % une durée supérieure à 66 minutes. Cela est très important car cela montre que l'hypothèse implicite faite dans les formules classiques utilisées pour le dimensionnement des ouvrages d'assainissement ne sera absolument pas vérifiée pour des bassins ayant un temps de concentration relativement grand.

TABLEAU 4
 PLUVIOGRAPHIE DE NIAMEY AERO
 DISTRIBUTION CALCULEE DE LA DUREE DES CORPS D'AVERSES

Classe (mn)	F(x)/Fo	e	Classe (mn)	F(x)/Fo	e
0. 5.	100	1.5695	150. 155.	1.2730	0.0510
5. 10.	96.2495	5.4597	155. 160.	1.1511	0.0453
10. 15.	83.2028	6.1249	160. 165.	1.0429	0.0403
15. 20.	68.5665	5.3735	165. 170.	0.9466	0.0359
20. 25.	55.7256	4.3843	170. 175.	0.8607	0.0322
25. 30.	45.2487	3.4952	175. 180.	0.7839	0.0288
30. 35.	36.8966	2.7716	180. 185.	0.7151	0.0258
35. 40.	30.2734	2.2026	185. 190.	0.6534	0.0232
40. 45.	25.0101	1.7597	190. 195.	0.5979	0.0209
45. 50.	20.8050	1.4152	195. 200.	0.5479	0.0189
50. 55.	17.4232	1.1462	200. 205.	0.5028	0.0171
55. 60.	14.6841	0.9349	205. 210.	0.4619	0.0155
60. 65.	12.4499	0.7679	210. 215.	0.4250	0.0140
65. 70.	10.6150	0.6348	215. 220.	0.3915	0.0127
70. 75.	9.0980	0.5281	220. 225.	0.3611	0.0116
75. 80.	7.8361	0.4419	225. 230.	0.3335	0.0105
80. 85.	6.7802	0.3718	230. 235.	0.3083	0.0096
85. 90.	5.8917	0.3144	235. 240.	0.2853	0.0088
90. 95.	5.1404	0.2673	240. 245.	0.2643	0.0080
95. 100.	4.5017	0.2282	245. 250.	0.2451	0.0074
100. 105.	3.9564	0.1957	250. 255.	0.2275	0.0067
105. 110.	3.4889	0.1685	255. 260.	0.2113	0.0062
110. 115.	3.0862	0.1456	260. 265.	0.1966	0.0057
115. 120.	2.7382	0.1263	265. 270.	0.1830	0.0052
120. 125.	2.4364	0.1100	270. 275.	0.1705	0.0048
125. 130.	2.1735	0.0961	275. 280.	0.1590	0.0044
130. 135.	1.9440	0.0841	280. 285.	0.1484	0.0041
135. 140.	1.7429	0.0740	285. 290.	0.1386	0.0038
140. 145.	1.5662	0.0652	290. 295.	0.1296	0.0035
145. 150.	1.4105	0.0575	295. 300.	0.1212	0.0032
			300. ****	0.1134	0.0479

F(x)/Fo = fréquence au dépassement de la borne inférieure de la classe,
 exprimée en %/

e = effectif de la classe exprimé en nb de fois/année.

POSTE DE NIAMEY AERO

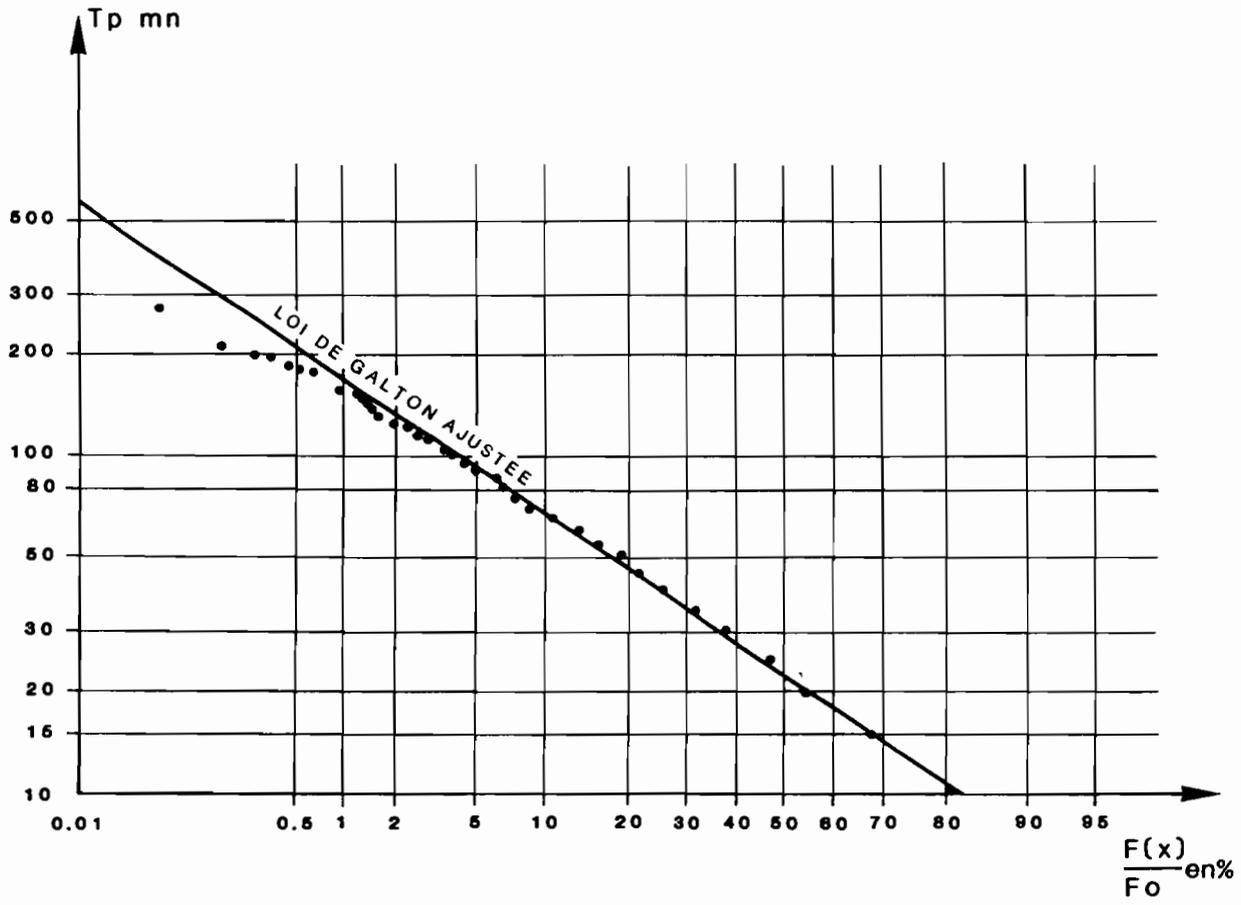


Fig. 3 : Corps d'averses . Distribution des durées .

1.2.2.b. Durée des averses dans leur intégralité

Nous avons ajusté une loi de Goodrich tronquée à la distribution des durées des averses dans leur intégralité (voir fig. n°4).

Les paramètres de la loi ajustée sont :

$$F_0 = 37,52 \text{ (en nombre de fois par an)}$$

$$\delta = 0,9622$$

$$S = 78,94$$

$$X_0 = 0 \text{ minute}$$

POSTE DE NIAMEY AERO

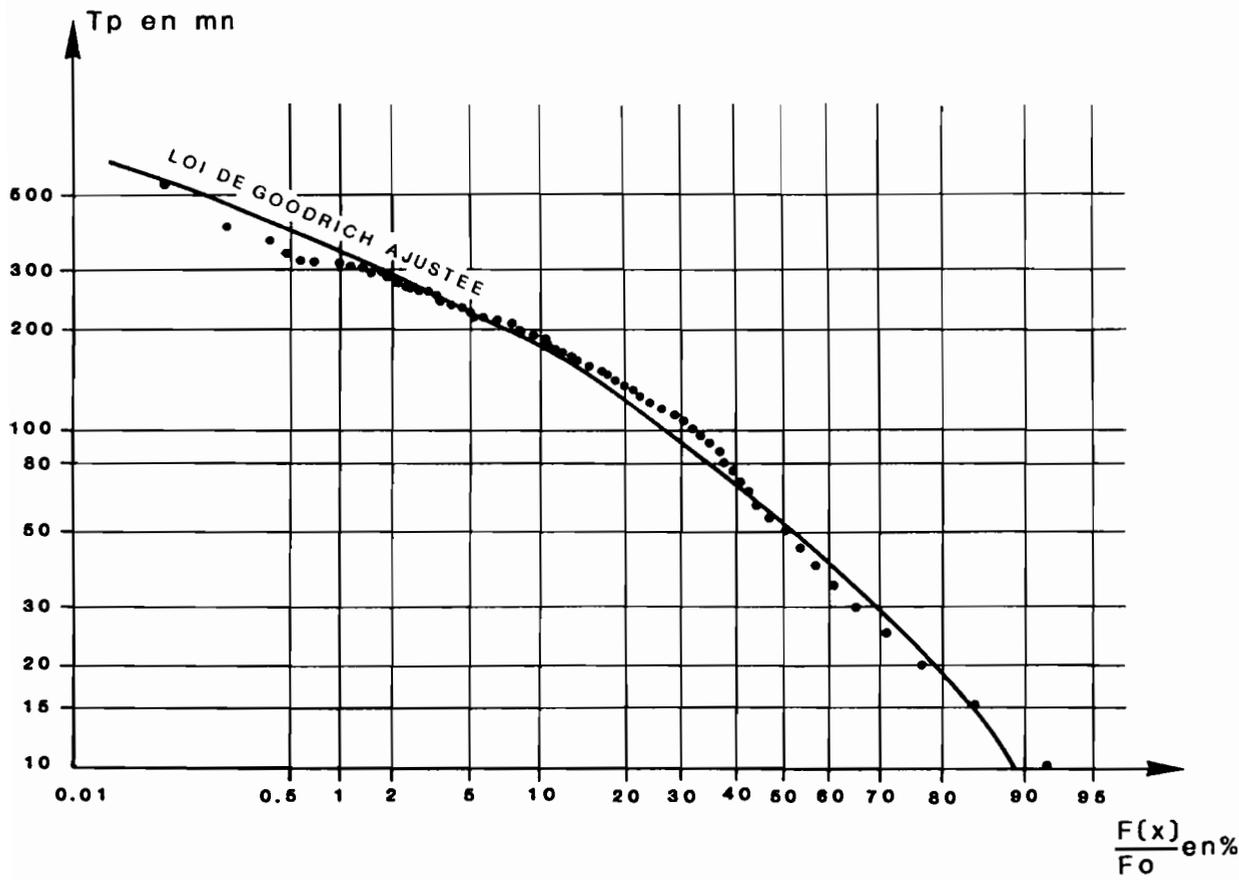


Fig. 4 : Averses dans leur intégralité. Distribution des durées.

1.2.3. Distribution des hauteurs des corps d'averses sachant leurs durées

Pour estimer les lois de probabilités des hauteurs des corps d'averses sachant leurs durées, nous avons procédé de la façon suivante :

- Nous avons fait une partition de l'ensemble des corps d'averses basée sur leur durée. Les classes étant déterminées de 5 en 5 minutes.

- Pour les corps d'averses de durée inférieure à 80 minutes, l'effectif des classes étant suffisant, nous avons pu ajuster pour chaque classe une loi de Goodrich en posant :

$$x_0 = \frac{x_b}{60} \cdot 5$$

x_0 = étant le paramètre de position de la loi de Goodrich (mm)

x_b = la valeur inférieure en minutes de la borne inférieure de la classe

On suppose, en effet, que tous les corps d'averses ont une intensité moyenne supérieure à 5 mm/h, ce qui est en accord avec le critère d'individualisation que l'on a choisi :

- Pour les corps d'averses de durée supérieure à 80 minutes, l'effectif de chaque classe était insuffisant ; on a admis que la variable $(x - x_0)$ suivait la même loi de probabilité avec :

$$x_0 = \frac{5}{60} \cdot T_p \quad T_p \text{ durée du corps d'averses en mn}$$

Effectivement, nous avons pu ajuster de façon satisfaisante, une loi de Goodrich à la distribution de cette variable.

On trouvera dans le tableau 5, les valeurs des paramètres des lois de Goodrich ajustées. On a représenté sur la figure n°5 leur évolution en fonction de la durée du corps d'averses.

TABLEAU 5

POSTE DE NIAMEY-AERO

VALEUR DES PARAMETRES DE LA LOI DE GOODRICH AJUSTEE
AUX DISTRIBUTIONS DES HAUTEURS DE CORPS D'AVERSES DE DIFFERENTE DUREE

Durée en mn	Xo mm	S mm	1/δ
5-10	0,417	1,70	0,894
10-15	0,833	2,70	0,815
15-20	1,25	4,35	0,979
20-25	1,667	6,41	1,091
25-30	2,083	8,34	1,003
30-35	2,50	11,53	1,180
35-40	2,917	10,32	1,052
40-45	3,333	16,21	1,215
45-50	3,750	12,63	0,884
50-55	4,167	13,94	1,186
55-60	4,583	12,86	0,894
60-65	5,00	20,43	1,199
65-70	5,417	13,75	0,942
70-75	5,833	18,41	0,964
75-80	6,25	18,87	1,494
> 80	$\left(\frac{5}{60} \times TP\right)$	(32,33)	(1,717)

avec Xo = paramètre de position en mm
S = paramètre d'échelle en mm
δ = paramètre de forme
TP = durée du corps d'averses

POSTE DE NIAMEY AERO

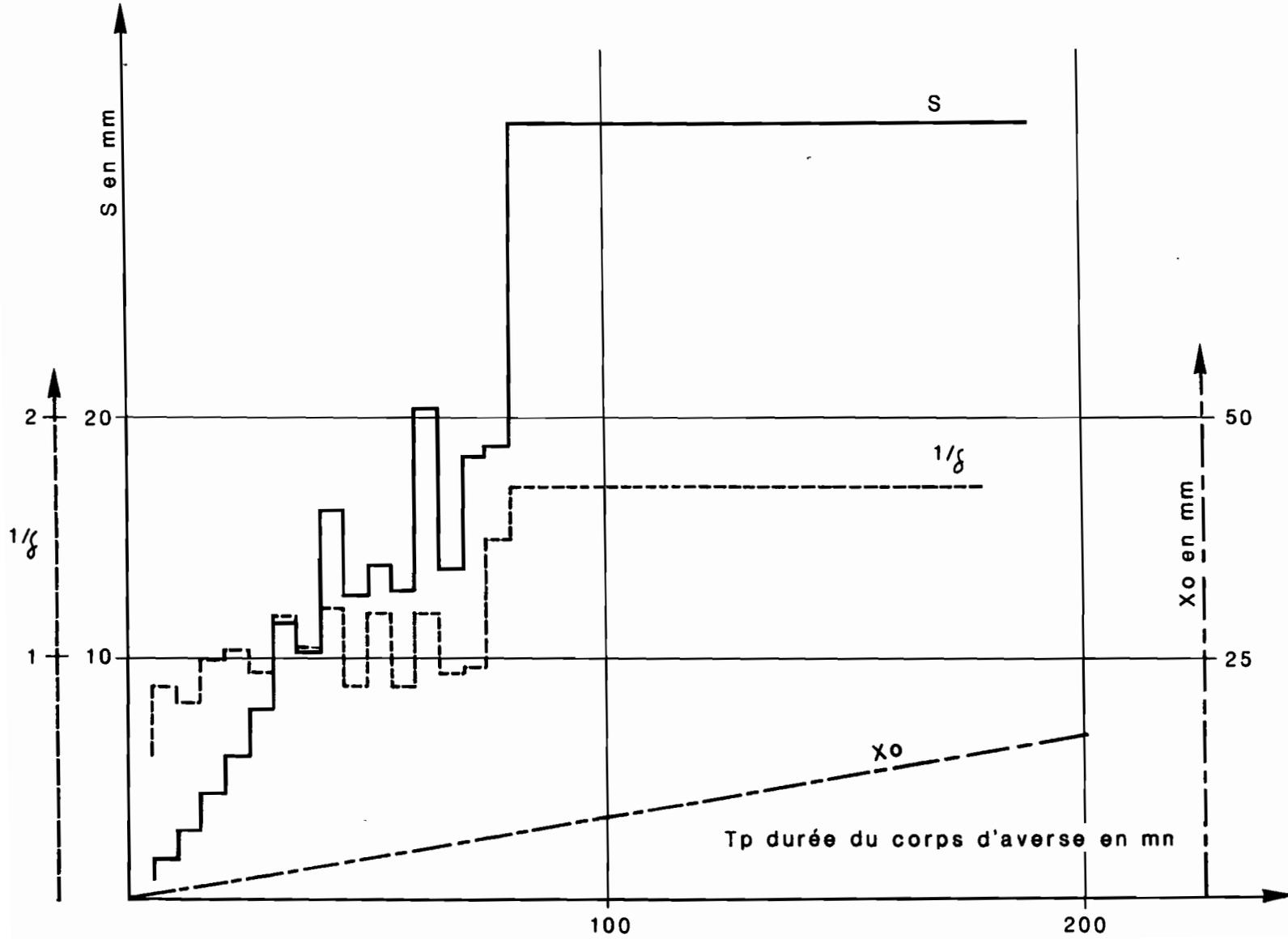


FIG. 5 : Paramètres des lois de Goodrich ajustées aux distributions des hauteurs des corps d'averse de différentes durées .

1.2.4. Distribution des durées des corps d'averses sachant leurs hauteurs

On trouvera dans le tableau 6 les distributions observées des durées des corps d'averses pour chaque classe de hauteurs (5-15, 15-25, 25-45, 45-65, 65-85, 85-105 mm).

On trouvera également représentée sur la figure n°6, l'évolution de la valeur de la médiane des distributions observées des durées pour chaque classe, en fonction des hauteurs.

Pour des hauteurs supérieures à 20 mm, on pourra estimer la valeur médiane des durées en utilisant la relation :

$$DMC(PC) = 0,96. PC + 20$$

avec

DMC(PC) = durée médiane des corps d'averses de hauteur PC (mn)
PC = hauteur du corps d'averses (mm)

1.2.5. Formes des hyétogrammes de corps d'averses

1.2.5.a. Formes moyennes (fig. 7)

Pour chaque classe de durée, la durée du corps d'averse a été découpée en N tranches égales, pour chaque tranche a été calculé la valeur :

$$X_i = \frac{P_i T_p}{T \quad PC}$$

avec

PC = hauteur du corps d'averse

T_p = durée du corps d'averse

P_i = hauteur de pluie tombée durant la tranche n°i

$$T = \text{durée de la tranche} = \frac{T_p}{N}$$

N est déterminé de façon telle que la durée de chaque tranche soit voisine de 5 minutes. Nous avons ensuite calculé à partir de l'échantillon des corps d'averses, la moyenne et l'écart type des valeurs X_i .

Les valeurs trouvées sont données dans le tableau 8. Les classes choisies ainsi que la valeur de N correspondante sont données dans le tableau 7.

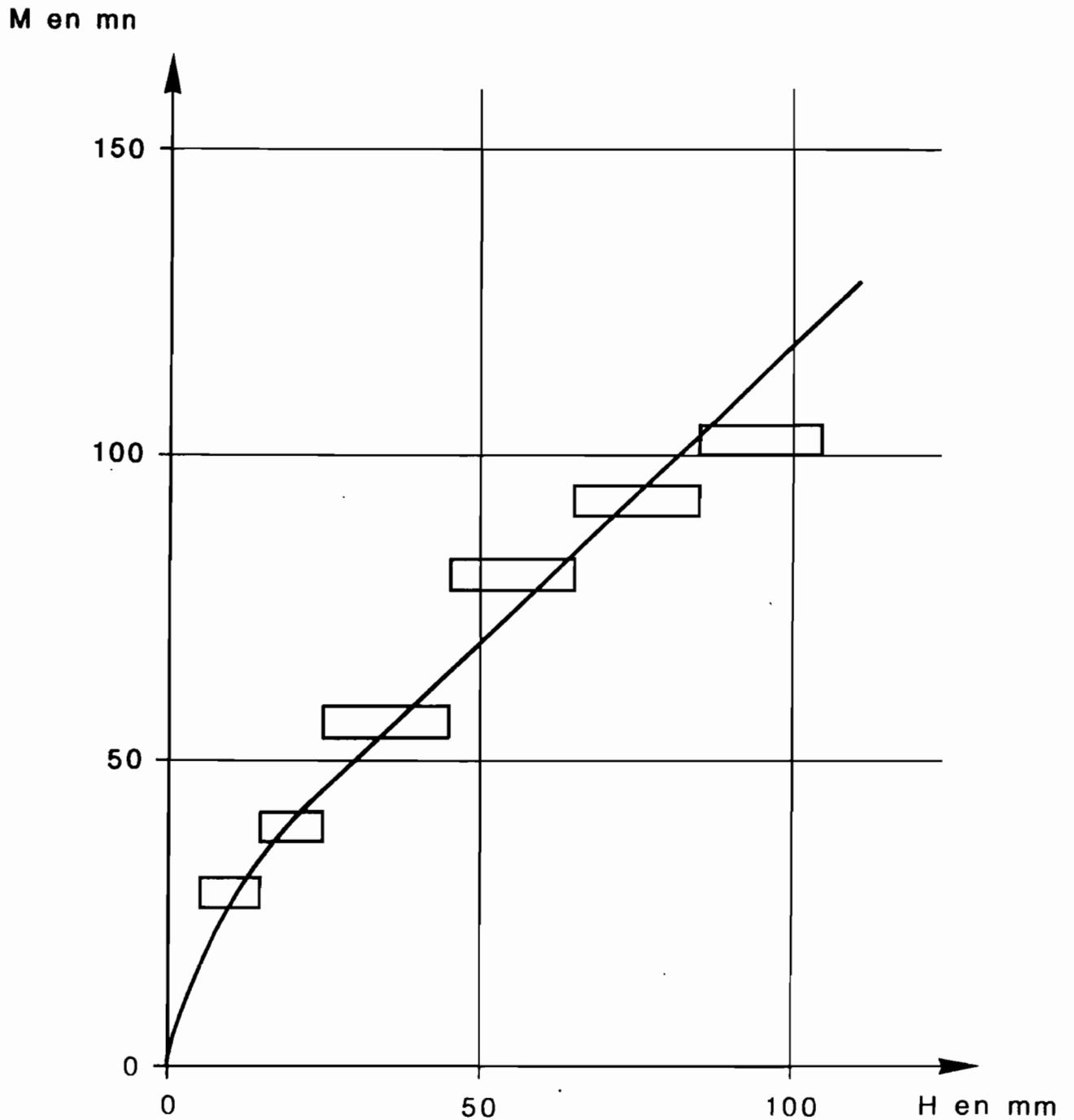
1.2.5.b. Formes types (fig. 8):

Pour chaque classe de durée, nous avons calculé la position moyenne du maximum d'intensité (on trouvera dans le tableau 9 les distributions observées de cette valeur). A ces valeurs, nous avons ajusté la fonction $TPM(T_p)$, TPM étant la position moyenne du maximum, représentée sur la figure n° 9.

Par ailleurs, nous avons pour chaque classe de durée, superposé toutes les formes des hyétogrammes de l'échantillon en faisant coïncider les maxima et avons calculé la moyenne des X_i des tranches ainsi définies. La forme type ainsi définie a, à ce stade, une durée supérieure à celle de la classe puisque les maxima ne surviennent pas toujours à la même date. A l'aide de la fonction $TPM(T_p)$, on détermine alors la position du maximum, donc la date du début et de la fin du hyétogramme; l'excédent de pluie se trouvant avant le début de la pluie ainsi défini est réparti régulièrement sur les tranches précédant le maximum; on fait de même pour l'excédent de pluie se trouvant après la fin du hyétogramme.

Les formes types de hyétogrammes pour chaque classe de durée sont données dans le tableau 10. Est également mentionné sur ce tableau l'écart type de la distribution des maxima.

POSTE DE NIAMEY AERO



H=Hauteur des corps d'averses

M=Médiane des distributions observées des durées des corps d'averses de hauteurs H

Fig 6. : Médiane des distributions observées des durées des corps d'averses de différentes durées.

TABLEAU 6

POSTE DE NIAMEY AERO

DISTRIBUTION OBSERVEE (EN %) DE LA DUREE DU CORPS D'AVERSE
POUR CHAQUE CLASSE DE HAUTEUR

ct	ch					
	5-15	15-25	25-45	45-65	65-85	85-105
5 10	2.0	2.3	1.1	0.0	0.0	0.0
10 15	9.8	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0
15 20	17.8	3.8	1.1	0.0	0.0	0.0
20 25	13.8	6.8	1.1	0.0	0.0	0.0
25 30	8.9	10.5	6.6	0.0	0.0	0.0
30 35	10.6	12.8	5.5	5.0	0.0	0.0
35 40	7.8	10.5	7.7	0.0	0.0	0.0
40 45	4.6	7.5	11.0	5.0	0.0	0.0
45 50	4.3	6.0	5.5	10.0	0.0	0.0
50 55	4.6	7.5	9.9	0.0	0.0	0.0
55 60	3.2	1.5	5.5	5.0	0.0	0.0
60 65	2.9	6.8	7.7	10.0	25.0	0.0
65 70	2.6	1.5	4.4	5.0	0.0	0.0
70 75	1.4	2.3	5.5	5.0	25.0	0.0
75 80	0.6	2.3	2.2	5.0	0.0	0.0
80 85	0.9	1.5	1.1	5.0	0.0	0.0
85 90	2.0	3.0	0.0	10.0	0.0	0.0
90 95	0.9	0.0	3.3	0.0	0.0	0.0
95 100	0.3	1.5	0.0	5.0	0.0	0.0
100 105	0.6	0.8	1.1	0.0	0.0	100.0
105 110	0.0	0.0	4.4	5.0	0.0	0.0
110 115	0.0	1.5	1.1	0.0	25.0	0.0
115 120	0.0	0.0	2.2	5.0	0.0	0.0
120 125	0.0	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0
125 130	0.3	0.8	1.1	5.0	0.0	0.0
130 135	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
135 140	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
140 145	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
145 150		0.0	0.0	0.0	25.0	0.0
150 155		0.0	3.3	0.0	0.0	0.0
155 160		0.0	2.2	5.0	0.0	0.0
160 165		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
165 170		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
170 175		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
175 180		0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
180 185		0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
185 190		0.0	0.0	5.0	0.0	0.0
190 195		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
195 200		0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
200 205		0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
205 210			0.0	0.0	0.0	0.0
210 215			1.1	0.0	0.0	0.0
215 220				0.0	0.0	0.0
220 225				0.0	0.0	0.0
225 230				0.0	0.0	0.0
230 235				0.0	0.0	0.0
235 240				0.0	0.0	0.0
240 245				0.0	0.0	0.0
245 250				0.0	0.0	0.0
250 255				0.0	0.0	0.0
255 260				0.0	0.0	0.0
260 265				0.0	0.0	0.0
265 270				0.0	0.0	0.0
270 275				5.0	0.0	0.0

ch = classe de hauteur en mm
ct = classe de durée en mm

TABLEAU 7

PLUVIOGRAPHIE DE NIAMEY AERO

CLASSES DE DUREE DEFINIES POUR LA DETERMINATION DES HYETOGRAMMES

N°	Bs	N	Effectif
1	10-15	3	47
2	15-20	4	61
3	20-25	5	57
4	25-30	6	43
5	30-35	7	50
6	35-40	8	43
7	40-45	9	22
8	45-50	10	28
9	50-55	11	27
10	55-60	12	11
11	60-70	13	36
12	70-80	15	11
13	80-90	17	10
14	90-100	19	8
15	100-120	22	11
16	120-140	26	4
17	140-180	32	4

N° = numéro de la classe

Bs = bornes inférieure et supérieure de la classe en minutes

N = nombre d'intervalles de durée utilisé pour le calcul de la forme du hyétogramme

TABLEAU 8
FORMES MOYENNES DES CORPS D AVERSES DE DIFFERENTES DUREES

C	NT																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	1.22	1.03	0.77																								
	0.32	0.16	0.29																								
2	1.19	1.14	0.99	0.70																							
	0.54	0.25	0.34	0.36																							
3	1.14	1.20	1.16	0.86	0.65																						
	0.49	0.35	0.32	0.36	0.31																						
4	1.11	1.20	1.30	1.08	0.78	0.55																					
	0.45	0.38	0.36	0.46	0.30	0.36																					
5	1.33	1.29	1.28	1.15	0.87	0.63	0.47																				
	0.80	0.49	0.47	0.48	0.40	0.41	0.36																				
6	1.40	1.37	1.33	1.14	1.13	0.82	0.47	0.37																			
	0.76	0.50	0.50	0.32	0.60	0.50	0.33	0.29																			
7	1.28	1.42	1.46	1.09	0.97	1.01	0.87	0.52	0.39																		
	0.76	0.74	0.72	0.43	0.45	0.56	0.81	0.37	0.28																		
8	1.17	1.47	1.41	1.18	1.06	0.94	0.79	0.85	0.62	0.54																	
	0.77	0.88	0.78	0.59	0.37	0.45	0.43	0.71	0.59	0.53																	
9	0.97	1.31	1.37	1.36	1.35	1.40	1.03	0.69	0.59	0.54	0.42																
	0.73	0.73	0.62	0.55	0.45	0.58	0.50	0.36	0.33	0.34	0.31																
10	1.29	1.06	1.08	1.37	1.42	1.26	1.13	1.04	0.76	0.63	0.53	0.47															
	0.75	0.49	0.43	0.37	0.43	0.26	0.26	0.44	0.31	0.32	0.31	0.32															
11	1.34	1.38	1.42	1.30	1.28	1.24	1.15	0.95	0.83	0.79	0.58	0.41	0.36														
	1.05	0.88	0.65	0.62	0.55	0.55	0.73	0.61	0.68	0.69	0.39	0.23	0.21														
12	0.93	1.58	1.32	1.09	1.18	1.40	1.26	1.24	1.25	1.08	0.77	0.60	0.54	0.42	0.38												
	0.99	1.91	0.95	0.71	0.71	0.81	0.54	0.60	0.72	0.58	0.51	0.44	0.42	0.32	0.29												
13	1.17	1.32	1.49	1.68	1.64	1.54	1.38	1.24	1.04	0.98	0.67	0.65	0.51	0.50	0.43	0.41	0.39										
	0.69	0.88	0.84	0.62	0.37	0.28	0.41	0.65	0.56	0.65	0.38	0.35	0.28	0.28	0.17	0.18	0.18										
14	1.82	1.75	1.55	1.51	1.49	1.37	1.00	0.95	0.94	0.93	0.92	0.83	0.74	0.65	0.56	0.53	0.51	0.50	0.50								
	1.07	0.92	0.79	0.61	0.49	0.50	0.38	0.39	0.44	0.46	0.47	0.41	0.36	0.33	0.20	0.19	0.21	0.22	0.22								
15	2.50	2.33	2.40	2.17	1.97	1.61	1.53	1.24	0.86	0.72	0.63	0.49	0.45	0.40	0.38	0.40	0.40	0.37	0.33	0.29	0.29	0.30					
	2.02	1.12	0.61	0.59	0.76	0.95	1.01	0.82	0.42	0.25	0.25	0.21	0.17	0.17	0.14	0.14	0.14	0.17	0.17	0.14	0.14	0.13					
16	2.14	1.90	1.59	1.53	1.64	1.52	1.90	1.72	1.33	1.39	1.72	1.31	0.80	0.74	0.52	0.53	0.56	0.56	0.54	0.51	0.30	0.27	0.25	0.24	0.29	0.30	
	1.54	1.20	1.06	1.10	1.06	0.19	1.06	0.96	0.33	0.70	1.29	0.83	0.48	0.44	0.29	0.27	0.23	0.22	0.22	0.26	0.18	0.19	0.20	0.20	0.19	0.19	

C = classe de durée

NT = rang de la tranche

Valeur supérieure = valeur de $\frac{I}{I_{moy}}$ de la tranche

Valeur inférieure = écart type de $\frac{I}{I_{moy}}$

I = intensité de la tranche

I_{moy} = intensité moyenne du corps d'averse

POSTE DE NIAMEY AERO

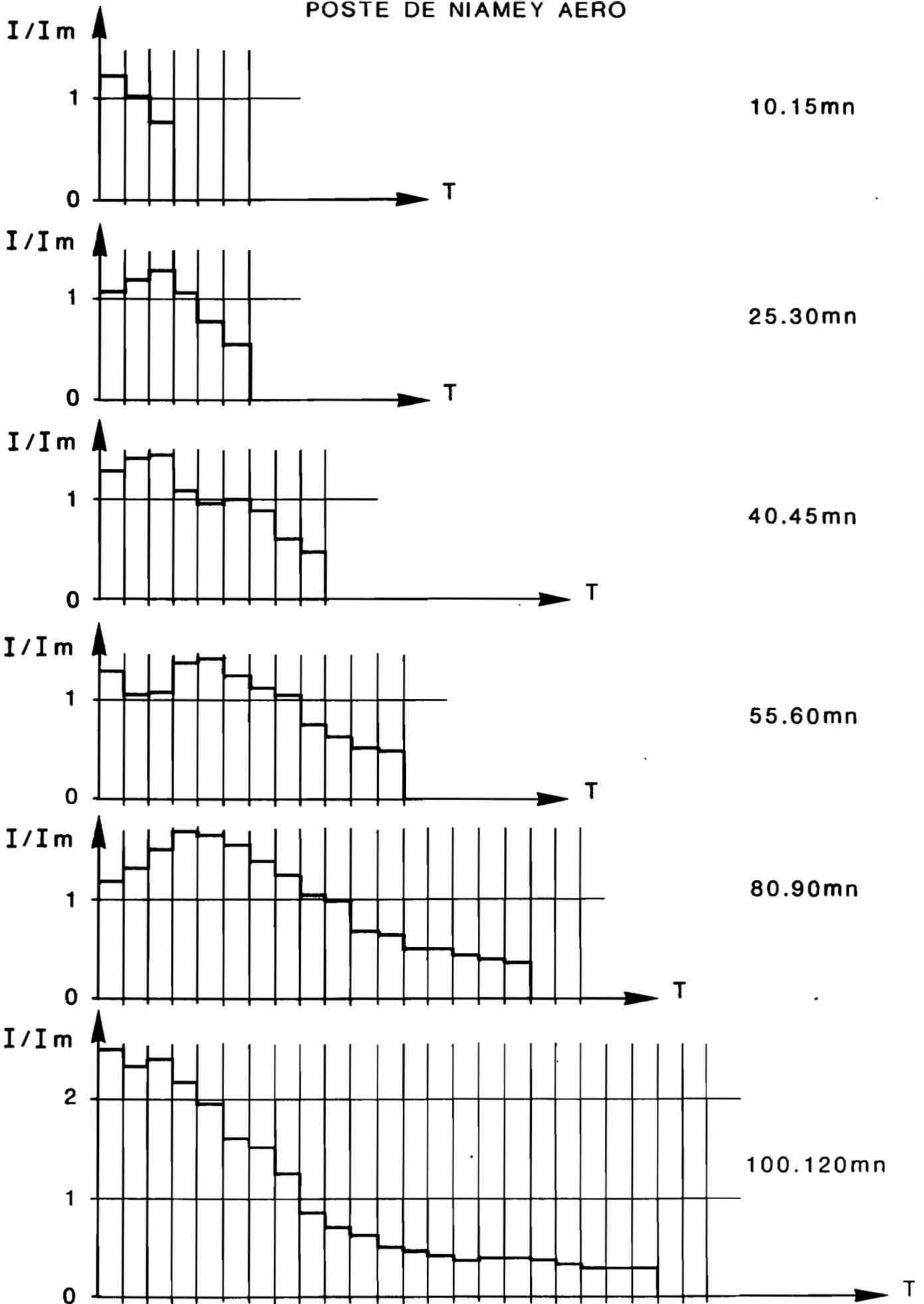


Fig.7 :Formes moyennes des hyetogrammes des corps d'averses de différentes durées

TABLEAU 9

DISTRIBUTION OBSERVEE DE LA POSITION DES MAXIMA D INTENSITE (EN %)

CD = classe de durée des corps d'averses, en mn
 CP = classe de position de l'intensité max. (par rapport au début de l'averse), en mn

CP	CD																
	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	50-55	55-60	60-70	70-80	80-90	90-100	100-120	120-140	140-180
0- 10	98.1	88.6	73.8	67.4	50.0	53.7	46.2	29.7	36.4	30.8	26.0	11.8	15.0	50.0	29.4	25.0	11.1
10- 20	1.9	11.4	24.6	28.3	39.3	33.3	23.1	24.3	12.1	30.8	20.0	11.8	20.0	0.0	29.4	12.5	33.3
20- 30			1.6	4.3	10.7	11.1	30.8	27.0	45.5	15.4	12.0	11.8	10.0	10.0	11.8	12.5	11.1
30- 40						1.9	0.0	13.5	6.1	7.7	18.0	11.8	20.0	30.0	5.9	12.5	0.0
40- 50								5.4	0.0	15.4	14.0	23.5	15.0	10.0	11.8	12.5	0.0
50- 60											8.0	11.8	15.0	0.0	11.8	12.5	0.0
60- 70											2.0	11.8	0.0	0.0	0.0	12.5	11.1
70- 80												5.9	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80- 90															0.0	0.0	0.0
90-100																0.0	0.0
100-110																	0.0
110-120																	0.0
120-130																	2.0
130-140																	1.0
140-150																	0.0
150-160																	0.0
MOYENNE (mm)	2.4	5.0	6.6	8.3	9.7	10.0	12.0	17.1	16.8	19.2	24.0	36.8	31.2	18.9	21.9	28.1	57.8

POSTE DE NIAMEY AERO

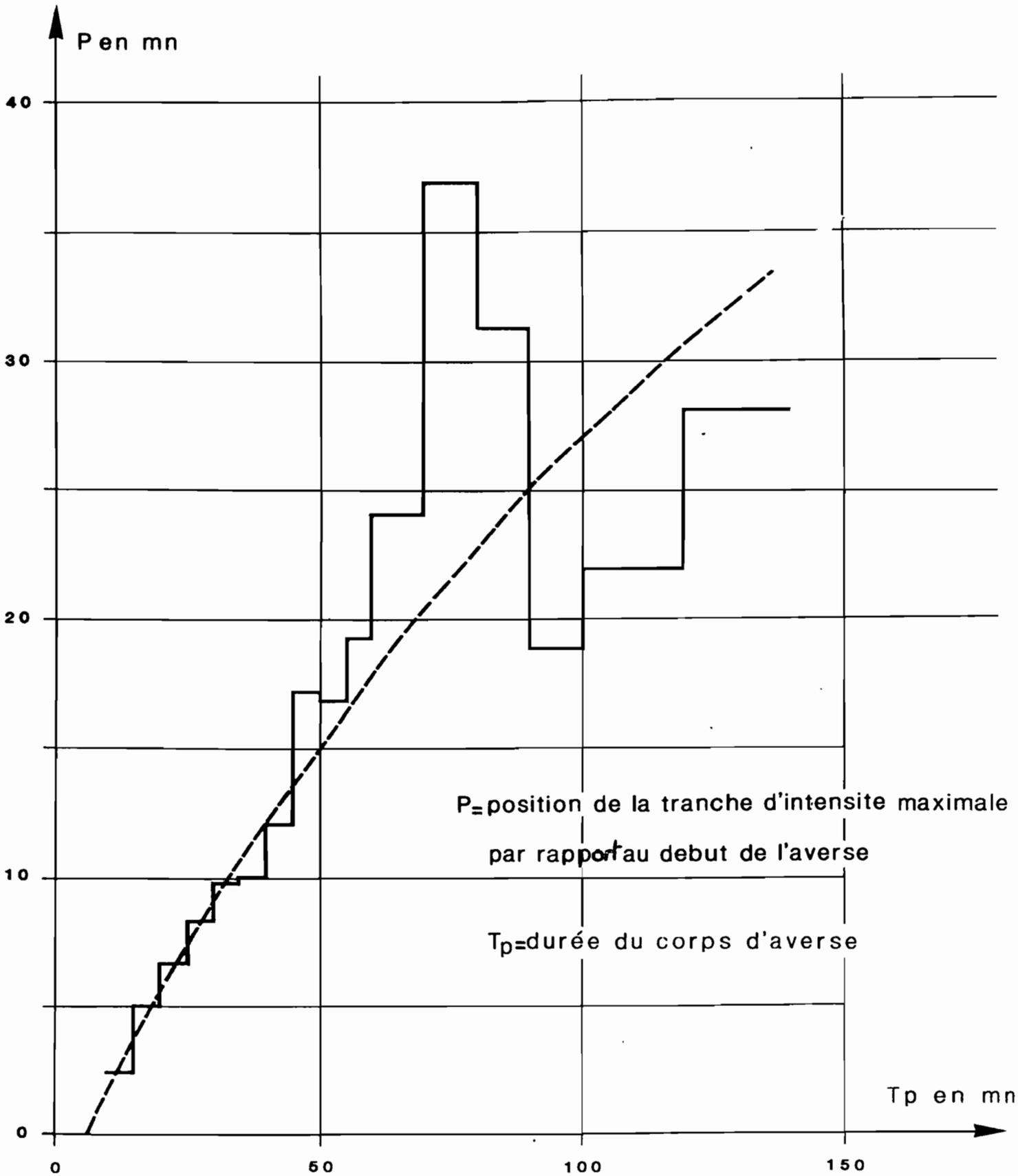


Fig. 8 : Position moyenne de la tranche d'intensité maximale en fonction de la durée des corps d'averses.

TABLEAU 10
FORMES TYPES DES CORPS D AVERSE DE DIFFERENTES DUREES

C	NT																										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	
1	0.42	1.61	0.97																								
		0.38																									
2	0.89	1.78	0.92	0.41																							
		0.38																									
3	1.24	1.76	1.00	0.63	0.36																						
		0.40																									
4	1.75	1.88	1.10	0.64	0.44	0.20																					
		0.52																									
5	0.68	1.13	2.15	1.30	0.83	0.56	0.35																				
		0.65																									
6	0.64	1.08	2.20	1.52	1.08	0.74	0.50	0.23																			
		0.62																									
7	0.77	1.55	2.29	1.56	1.02	0.74	0.56	0.25	0.25																		
		0.67																									
8	0.88	1.61	2.32	1.48	1.16	0.85	0.74	0.41	0.37	0.19																	
		0.77																									
9	0.65	0.92	1.61	2.15	1.54	1.08	0.98	0.84	0.47	0.44	0.32																
		0.60																									
10	0.62	0.71	1.12	1.97	1.26	1.15	1.18	1.22	0.89	0.78	0.54	0.55															
		0.57																									
11	0.98	1.18	1.53	2.48	1.76	1.33	1.10	0.81	0.47	0.41	0.34	0.34	0.28														
		0.82																									
12	1.02	1.32	1.37	1.84	3.07	1.65	1.10	0.83	0.68	0.48	0.48	0.44	0.40	0.17	0.17												
					1.68																						
13	0.83	0.93	1.04	1.50	2.21	1.77	1.44	1.40	1.29	0.91	0.82	0.69	0.65	0.41	0.39	0.36	0.35										
					0.74																						
14	0.03	0.15	0.15	0.33	0.78	2.21	2.09	1.81	1.67	1.71	1.16	1.09	1.14	1.14	0.74	0.76	0.69	0.69	0.64								
					0.86																						
15	0.16	0.39	0.69	0.86	1.35	3.45	2.59	2.15	1.91	1.70	0.98	0.90	0.72	0.64	0.54	0.50	0.45	0.44	0.43	0.44	0.36	0.34					
					1.47																						
16	0.16	0.16	0.20	0.19	0.35	1.10	3.01	2.28	1.98	2.47	2.35	1.35	1.23	1.14	1.18	0.75	0.74	0.73	0.72	0.60	0.60	0.56	0.55	0.57	0.57	0.48	
					1.30																						

C = classe de durée

NT = rang de la tranche

Valeur supérieure : valeur de $\frac{I}{I_{moy}}$ de la tranche

Valeur inférieure : écart type du $\frac{I}{I_{moy}}$ maximum

I = intensité de la tranche

I_{moy} = intensité moyenne du corps d'averse

POSTE DE NIAMEY AERO

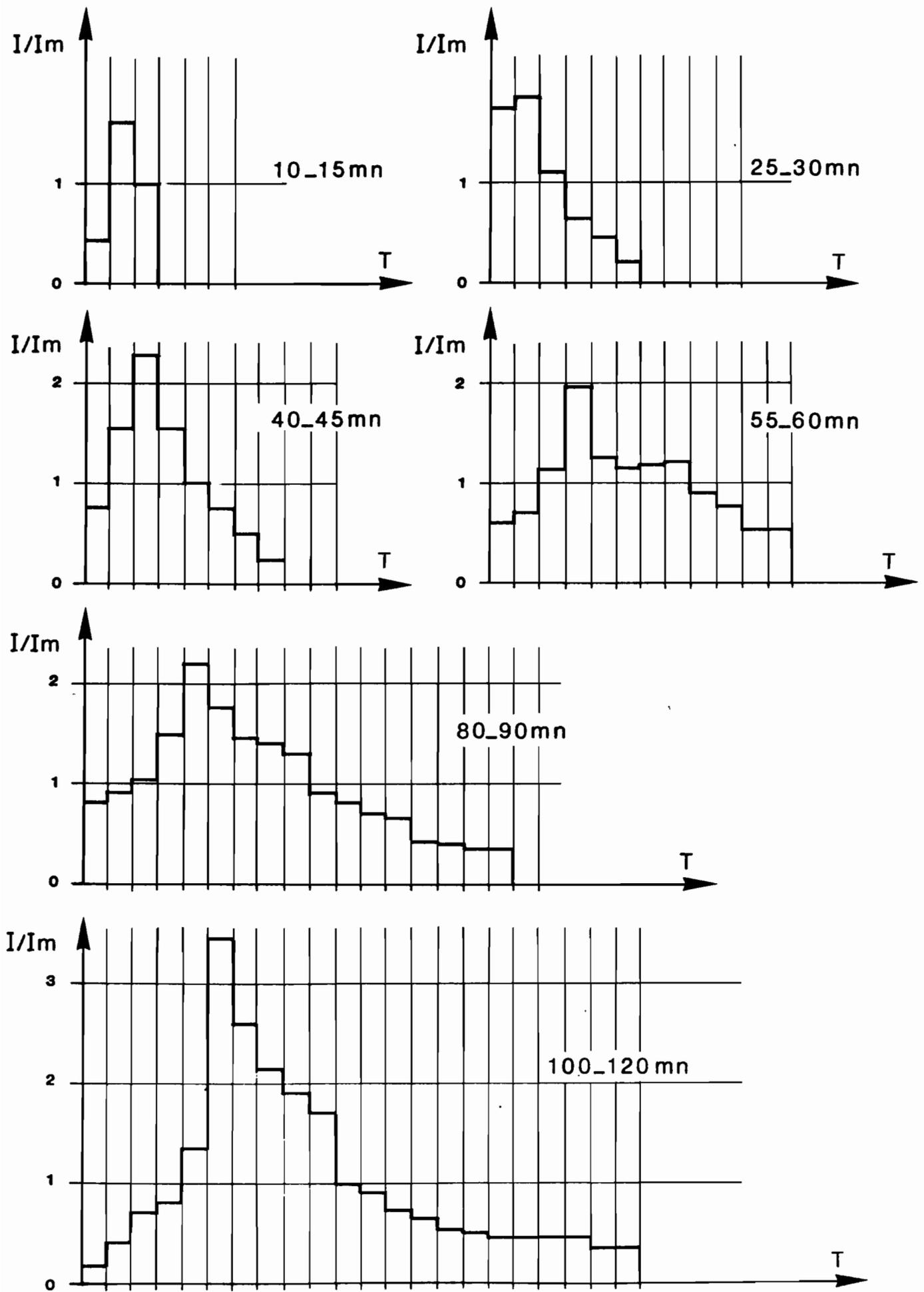


Fig. 9 :Formes type des hyetogrammes des corps d'averses de differente durée

1.2.6. Distribution des hauteurs des corps d'averses (fig. n° 10) :

On a ajusté à la distribution des hauteurs des corps d'averses, une loi de Goodrich dont on trouvera les paramètres dans le tableau 11, ainsi que les valeurs caractéristiques de cette distribution.

TABLEAU 11

POSTE DE NIAMEY-AERO

DISTRIBUTION DES HAUTEURS DE CORPS D'AVERSES

Paramètres de la loi de GOODRICH ajustée

$$F(x) = F_0 \exp \left(- \left(\frac{x - X_0}{S} \right)^{1/\delta} \right)$$

avec :

- F(x) = probabilité que la hauteur soit égale ou supérieure à X (en nombre de fois par an)
- F₀ = paramètre de troncage = 42,7 fois par an
- ST = seuil de troncature = 5,0 mm
- X₀ = paramètre de position = 0 mm
- S = paramètre d'échelle = 9,58 mm
- δ = paramètre de forme = 1,17

Valeurs caractéristiques

R	PC
0,5	35,5
1,0	45,0
2,0	54,9
5,0	68,4
10	78,8
20	89,5
50	103,9

avec :

- R = période de récurrence en années
- PC = hauteur (en mm) du corps d'averses

POSTE DE NIAMEY AERO

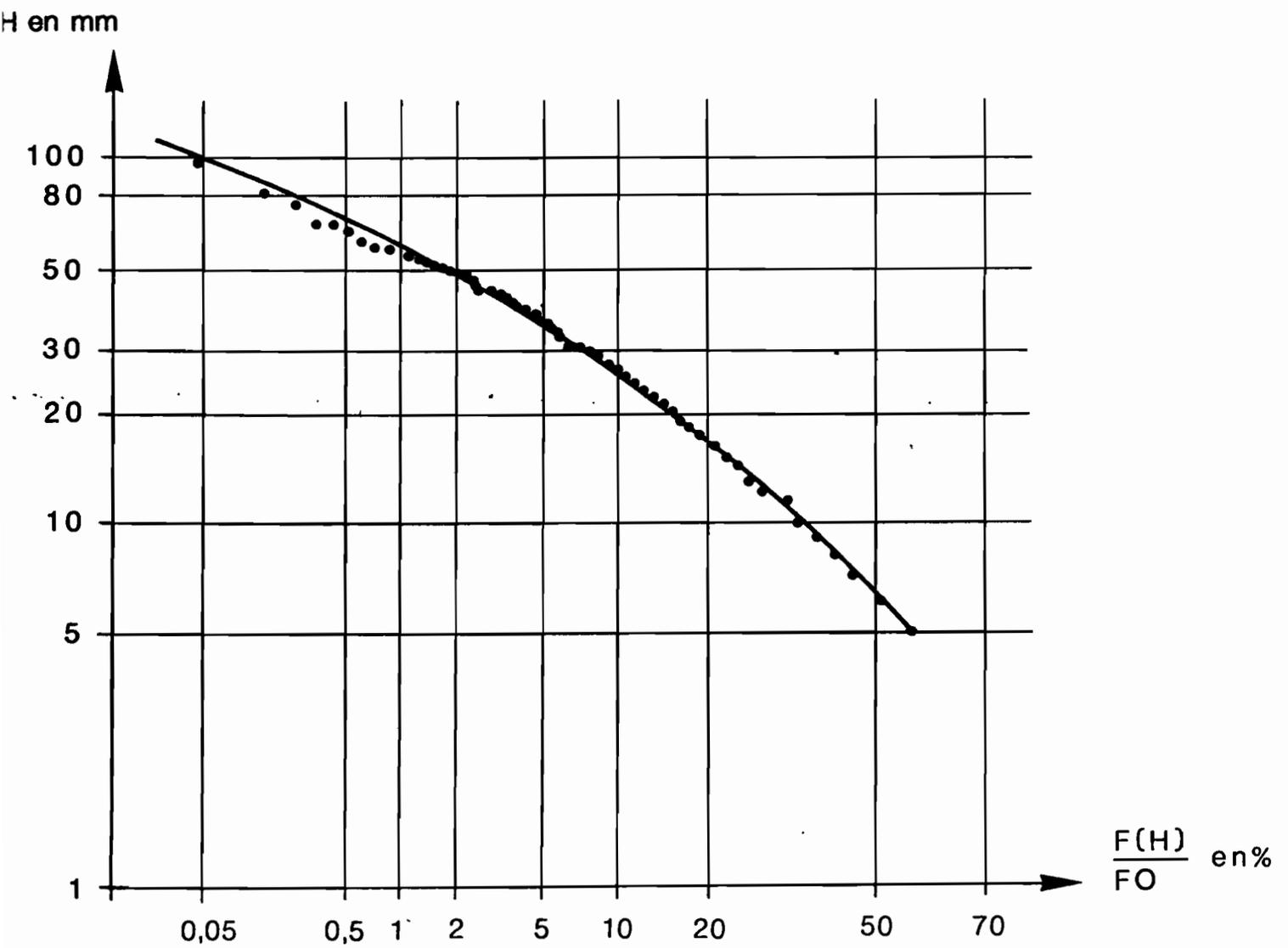


Fig. 10 : Corps d'averses . Distribution des hauteurs .

2. RECHERCHE D'UNE RELATION PLUIE-LAME RUISSELEE

Nous reprenons ici les réflexions développées par M. LE BARBE dans le cadre de son étude du ruissellement urbain sur OUAGADOUGOU.

Le but des mesures sur le terrain était de définir une fonction permettant, pour un bassin dont on connaît les caractéristiques, le calcul de la lame ruisselée d'une crue à partir de paramètres caractérisant la pluie et l'état de saturation du bassin.

Les caractéristiques du bassin susceptibles d'intervenir sont :

- a) la nature et les caractéristiques hydrodynamiques de son sol,
- b) son relief,
- c) la nature et la densité de son réseau de drainage,
- d) son coefficient d'imperméabilisation,
- e) l'importance de la végétation,
- f) la taille et la répartition sur le bassin des surfaces imperméables.

Les deux derniers facteurs (e et f) pouvant être regroupés en la notion de type d'habitat.

Nous avons équipé trois bassins :

- le bassin S1 ($S = 0,72 \text{ km}^2$)
- le bassin S2 ($S = 0,42 \text{ km}^2$) qui correspond à une partie du bassin n° I ($S = 0,56 \text{ km}^2$) étudié de 1963 à 1965.
- le bassin S3 ($S = 0,73 \text{ km}^2$)

Avant de procéder à l'interprétation des mesures faites sur ces bassins, il convient de les décrire brièvement et d'essayer de préciser la confiance que l'on peut accorder à ces mesures.

2.1. Description des bassins

2.1.1. Les types d'habitat

On peut adopter pour NIAMEY la classification qui a été établie pour OUAGADOUGOU.

Sur les bassins que nous avons installés, on ne rencontre que les types d'habitat T1, T3, T5 et T6. Rappelons leurs caractéristiques :

Type T1 : terrains nus sans ou avec peu de constructions.

Type T3 : zones d'habitation denses loties. Les maisons sont de petites tailles, en dur ou en banco, couvertes de tôle ondulée.

Type T5 : zone commerciale. Les constructions sont de moyennes et de grandes tailles. Le taux d'occupation au sol est très important.

Type T6 : zones résidentielles et administratives. Les constructions sont de moyennes ou de petites tailles et sont situées au milieu de parcelles plantées d'arbres avec ou sans aires gazonnées.

2.1.2. Les coefficients d'imperméabilisation

Nous avons calculé ces coefficients à partir de plans établis d'après photos aériennes que nous avons agrandis à une échelle de 1/2500^e. Sur ces agrandissements, nous avons mesuré pour tous les quartiers des bassins les surfaces imperméables et calculé la valeur du coefficient d'imperméabilisation.

Nous avons également mesuré, à partir de ces agrandissements :

- les surfaces imperméables directement reliées au réseau,
- les surfaces imperméables séparées du réseau par des surfaces perméables,

en assimilant grossièrement les premières aux surfaces goudronnées (toujours bordées de collecteurs) et les secondes aux toits des maisons ; pour ces dernières, l'eau se déverse en effet généralement dans la cour de la maison ou dans la rue non goudronnée passant à proximité.

Les coefficients C1 et C2 représentent le pourcentage de ces surfaces respectives/surface du bassin.

2.1.3. Récapitulatif des caractéristiques des bassins équipés

On trouvera dans le tableau suivant, le récapitulatif des caractéristiques des trois bassins que nous avons installés. Nous n'avons pas fait figurer, dans ce tableau, d'indice caractérisant le drainage, indice qui n'aurait pas eu grande signification vu le mauvais état d'entretien des caniveaux. On notera le faible pourcentage de surfaces imperméables directement reliées au réseau.

	S km ²	IB %	C %	C1 %	C2 %	Kc	Types d'habitat			
							T1%	T3%	T5%	T6%
S1	0,72	0,8	27,0	7,0	20,0	1,65	0	85	2	13
S2	0,42	1,0	31,0	7,0	24,0	1,82	0	93	7	0
S3	0,73	0,65	21,0	3,0	18,0	1,50	31	69	0	0

avec :

S = surface du bassin

IB = pente moyenne du bassin

C = coefficient d'imperméabilisation

C1 = proportion de surfaces imperméables directement reliées au réseau / S

C2 = C - C1

Kc = coefficient de compacité de Gravelius = $0,28 \frac{Pc}{S^*}$

avec Pc périmètre du bassin

2.2. La qualité des données disponibles

Dans un premier temps, nous avons effectué un traitement brutal des données du Tome 1 : aucun ajustement satisfaisant n'a pu être obtenu et nous avons du revenir de façon plus approfondie sur l'ensemble de ces données.

2.2.1. Généralités sur l'ensemble des mesures effectuées sur les bassins

2.2.1.a. Commentaires sur les conditions de mesure

Certains facteurs sont venus perturber les mesures effectuées :

- facteurs inhérents au milieu urbain : encombrement et charriage importants dans les collecteurs.

- facteurs liés aux équipements installés sur les bassins :

chaque bassin était équipé de deux batteries d'échelles (distantes d'une dizaine de mètres) et d'un limnigraphe

- échelle amont : placée vis à vis du limnigraphe sur la paroi opposée du collecteur

- échelle aval : au niveau de la passerelle de jaugeage. Les courbes de tarage des stations ont été établies relativement à cette échelle.

Pour chaque bassin, les enregistrements limnigraphiques ont été doublés de lectures d'échelles :
amont (jusqu'au 08.07.78)
amont et aval (à partir du 08.07.78 et en 1979).

Or, pour chaque bassin la gaine du limnigraphe n'était pas encastrée dans la paroi du collecteur en 1978, et constituait alors un obstacle à l'écoulement, provoquant une remontée du flotteur dans la gaine d'une part, et d'autre part une élévation du niveau de l'eau sur toute la largeur (notamment jusqu'à l'échelle amont située en vis à vis), quand celle-ci était faible (S1 et S3).

Les enregistrements limnigraphiques n'ont pu donc être exploités, et pour certaines crues (notamment celles du 01.06.78 et du 08.06.78) pour lesquelles nous ne disposons que des cotes lues sur l'échelle amont, il a été nécessaire de reconstituer par corrélation les cotes à l'échelle aval (référence du tarage).

- il semblerait que des débordements se soient produits lors des crues importantes. Malheureusement, nous n'avons pas retrouvé de documents relatifs à ce sujet : nous ne disposons que de témoignages très imprécis faisant état de débordements au niveau du carrefour du Temple, situé à la limite des bassins S1 et S2. Une visite sur le terrain en saison sèche a permis de constater que la configuration locale du réseau est tout à fait propice à ce genre d'incident, dans la mesure où le collecteur principal drainant le bassin S1 se raccorde à cet endroit à un conduit couvert dont la section de dimensions réduites peut s'avérer insuffisante pour évacuer les grosses crues, et susceptible en outre de s'obstruer partiellement. Les crues les plus importantes pourraient donc être écrêtées à cet endroit, où transite la quasi-totalité de l'écoulement du bassin, et le fait que les PHE 78,79,80 soient identiques à la station S1 abonde dans ce sens.

Sans aller plus loin dans ces spéculations, signalons simplement que de telles hypothèses nuisent principalement au crédit des crues de hauteur d'eau importante engendrées par des pluies courtes et intenses.

2.2.1.b. Analyse des crues les plus importantes

Nous nous sommes intéressés d'autre part aux pluies les plus importantes ($P_m > 30$ mm), qui ruissellent de façon très variable, comme le montrent les graphiques 11,12,13 .

Chacun de ces graphiques représente la lame d'eau ruisselée en fonction de la pluie moyenne tombée sur le bassin. Nous avons sélectionné les événements averse/lame ruisselée relatifs à la classe de pluie 10-20 mm et calculé, à partir de ces événements, le coefficient de ruissellement K_r médian, que nous avons attribué à la valeur centrale de la classe (ici 15 mm). Nous avons procédé de la même façon pour les pluies comprises entre 20 et 30 mm, et reporté sur chaque graphique les points ($15, K_r(15)$) et ($25, K_r(25)$). Ces 2 points nous ont permis de tracer une courbe estimée indiquant l'évolution du coefficient de ruissellement K_r (courbe en pointillé).

L'examen de ces graphiques appelle les commentaires suivants :

. nous observons une très grande dispersion des points sans que la prise en compte des facteurs secondaires

T_p = durée du corps d'averse

T_a = intervalle de temps séparant l'averse de la précédente

ne puisse l'expliquer.

. la disposition globale de ces points étant néanmoins très semblable pour chaque bassin, la dispersion constatée ne paraît pas accidentelle.

On remarque en particulier que :

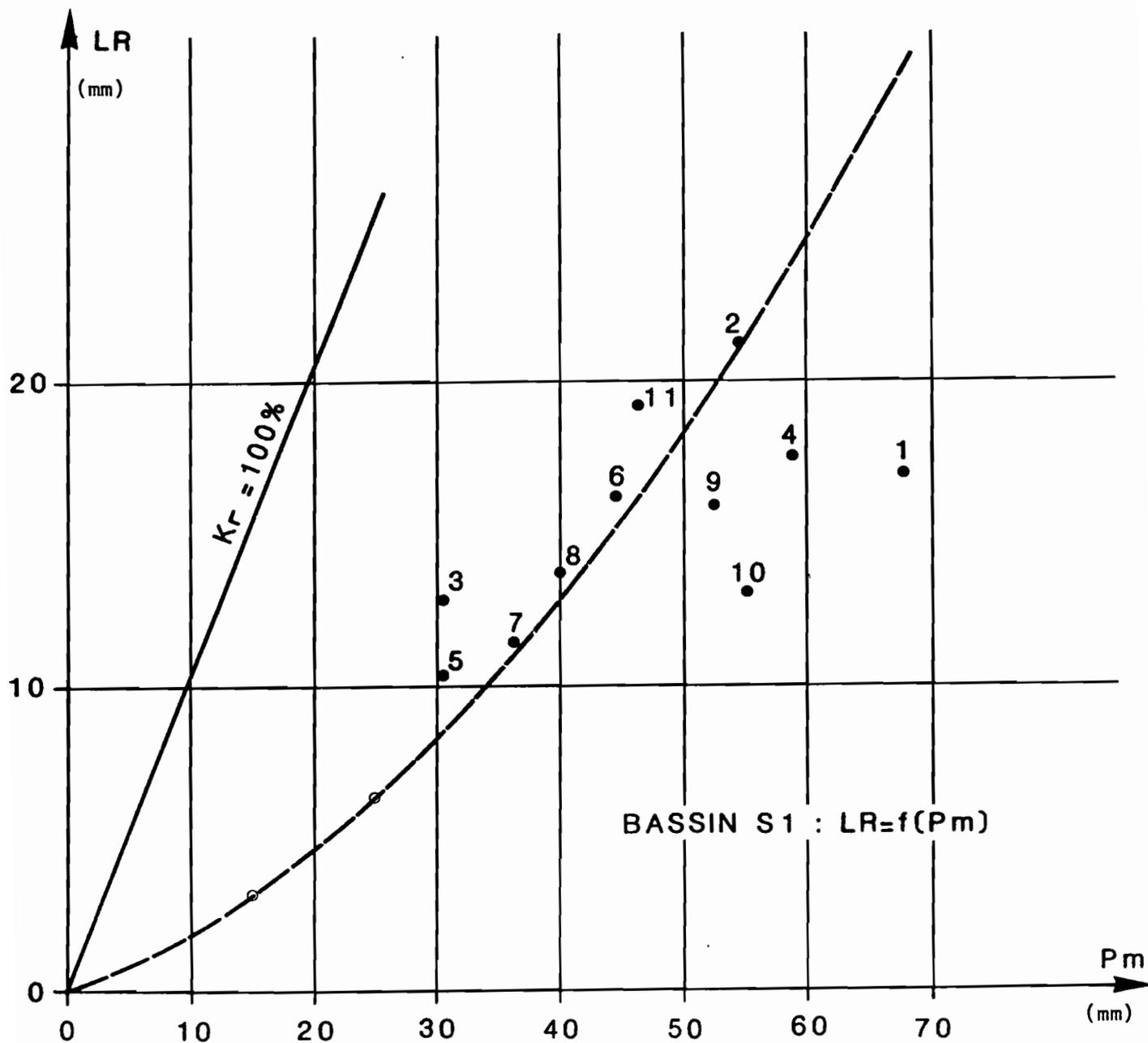
- le plus grand coefficient de ruissellement est obtenu pour la crue du 08.06.78, le plus faible par la crue du 22.08.78.

- les crues de l'année 1979 occupent une position médiane (en termes de K_r) par rapport à l'ensemble des crues.

. pour le bassin S2, les pluies supérieures à 30.0 mm ruissellent très faiblement, comme le montre la position des points/la courbe des K_r . Nous avons pu, en comparant les limnigrammes obtenus aux échelles amont et aval (distantes d'une dizaine de mètres), mettre en évidence une forte instabilité de la station.

2.2. Critique des données bassin par bassin

Il résulte de cette analyse qu'il ne faut pas espérer une trop grande précision des mesures. Nous indiquons dans ce qui suit les modifications que nous avons effectuées sur l'échantillonnage de chaque bassin. Nous avons éliminé certains événements lorsqu'ils présentaient des caractéristiques éminemment



o KR médian calculé à partir des averses de la classe correspondante

Fig. 11 : Bassin S1. Comparaison pluie-lame ruisselée.

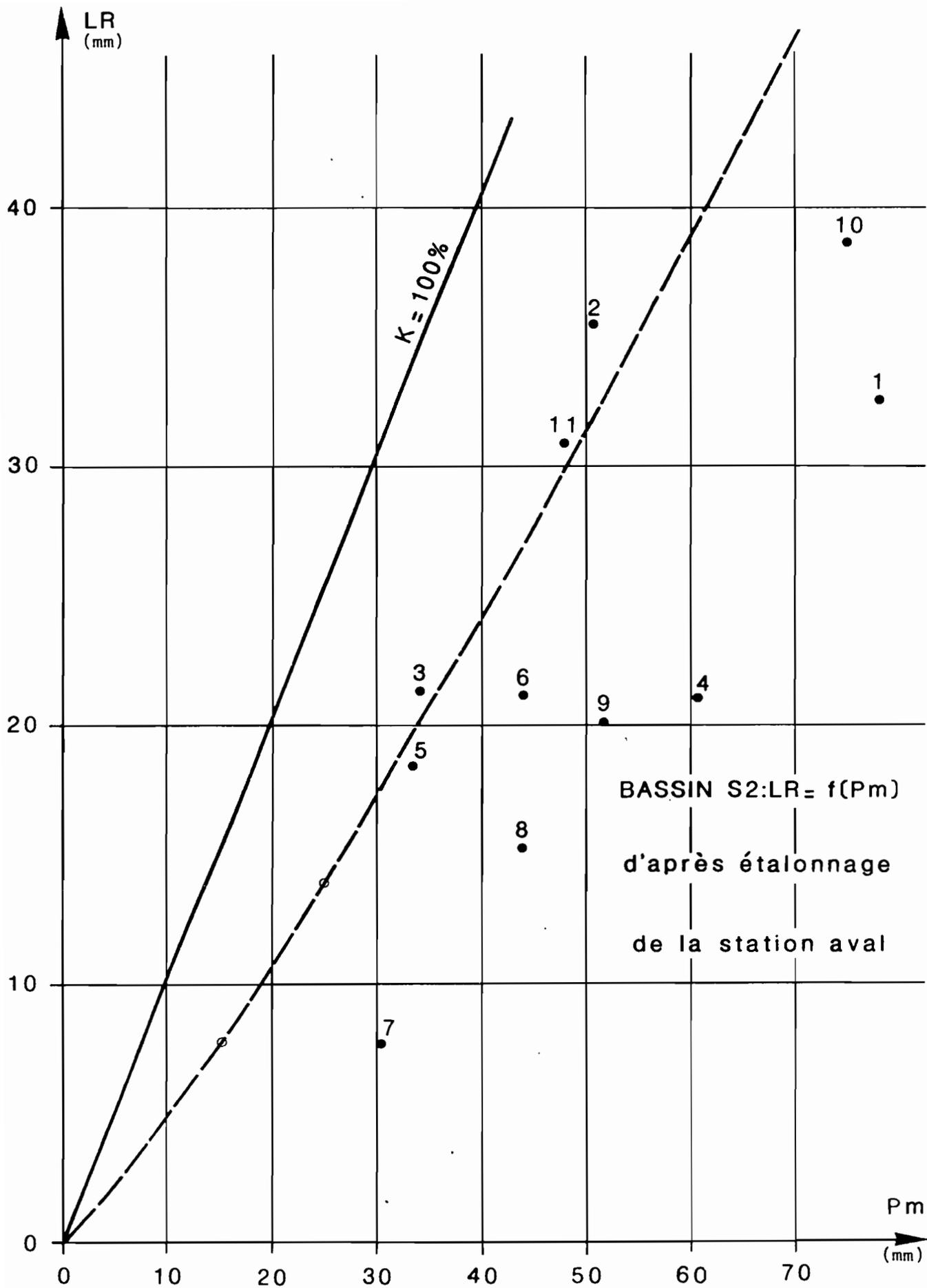
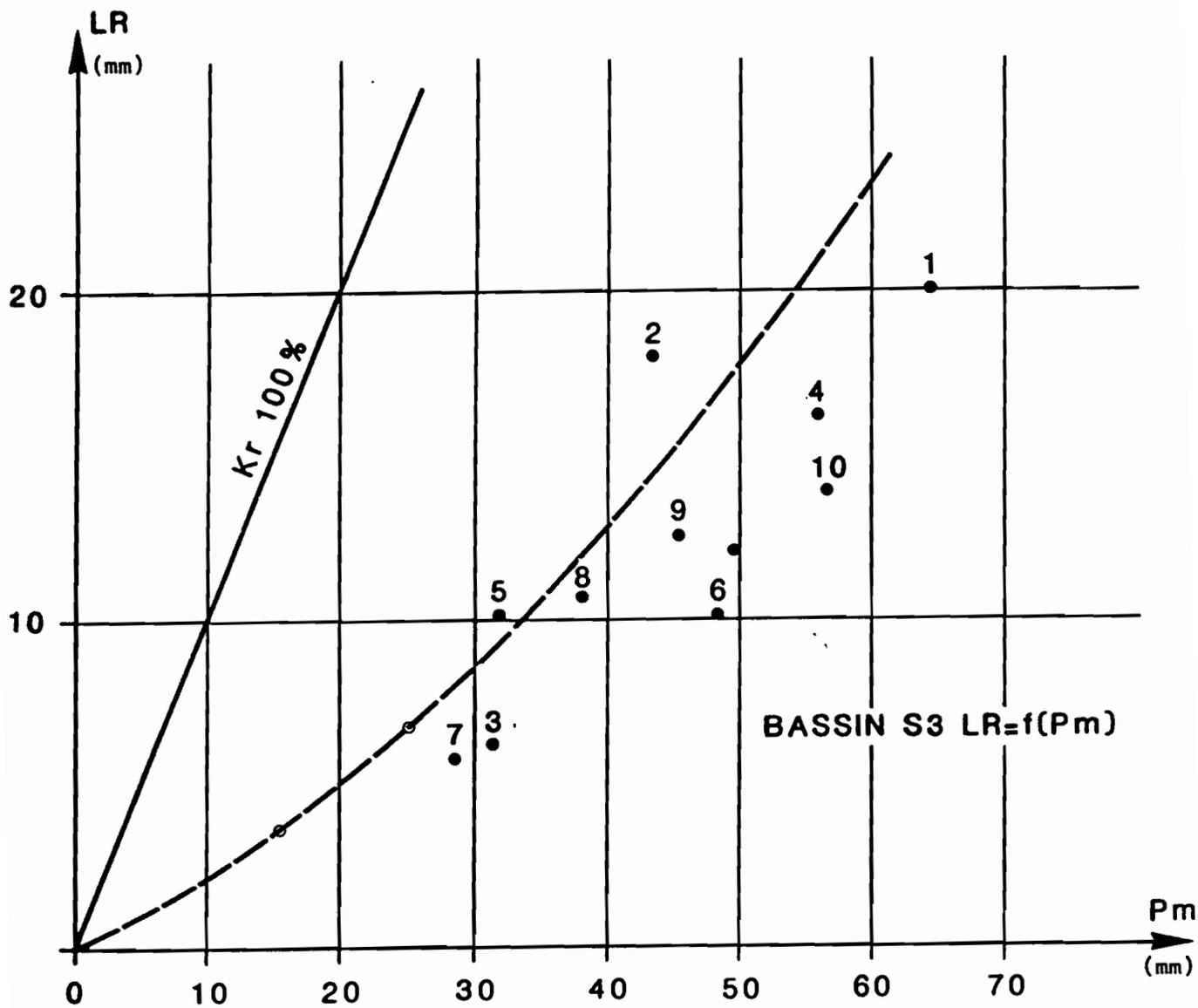


Fig . 12 : Bassin S2 . Comparaison pluie-lame ruisselée .

○ KR médian calculé à partir des averses de la classe correspondante



○ KR médian calculé à partir des averses de la classe correspondante

Fig. 13 : Bassin S3 . Comparaison pluie-lame ruisselée.

douteuses, le premier critère de sélection consistant à obtenir des réponses (crues) globalement équivalentes pour une même impulsion (pluie) sur les 3 bassins. D'autre part, nous nous sommes efforcés de séparer, dans le cas des pluies à corps multiples, les événements averse-crue unitaires. Dans ce qui suit, nous avons adopté les notations suivantes:

Pm = hauteur moyenne de l'averse sur le bassin (en mm)

Pc = hauteur moyenne du corps d'averse sur le bassin (en mm)

Lr = lame ruisselée (en mm)

Tp = durée du corps d'averse (en mn)

Ta = intervalle de temps séparant l'averse de la précédente (en h)

Bassins S1 : nous avons effectué les modifications suivantes :

Année 1978 :

20/06 Pm = 23,8 mm

11/07 Séparation des averses

averse no 2 : Pm = 18,5 mm Pc = 17,0 mm Lr = 4,4 mm

Tp = 45 mn Ta = 60 h

02/08 Séparation des averses

averse no 1 : Pm = 20,6 mm Pc = 18,8 mm Lr = 8,8 mm

Tp = 30 mn Ta = 29 h

année 1980

30/06 Séparation des averses

averse no 1 : Pm = 15,2 mm Pc = 14,6 mm Lr = 3,3 mm

Tp = 21 mn Ta = 127 h

01/08 : averse corrigée de la pluie préliminaire de 2,5 mm

Pm = 9,1 mm Pc = 8,7 mm Lr = 2,5 mm Tp = 85 mn Ta = 3 h

10/08 : séparation des averses

averse no 1 : Pm = 17,5 mm Pc = 10,5 mm Lr = 7,4 mm

Tp = 25 mn Ta = 219h

D'autre part, nous avons renoncé à exploiter les résultats relatifs à :

- la période du 17/09 au 18/09/79 : deux crues dont le Kr est très faible
- la période du 06/08/80 : toutes les crues de cette période présentant des Kr anormalement forts.

Bassins S2 :

L'écoulement de l'eau est manifestement perturbé à cette station dans le bief constitué par la portion du collecteur comprise entre les échelles amont et aval (une dizaine de mètres environ). Nous avons comparé, pour la période pour laquelle nous disposons de doubles lectures (du 08/07/78 au 18/09/79), les limnigrammes obtenus à l'amont et à l'aval. Il apparaît ainsi que :

- jusqu'au 30/05/79, les limnigrammes amont et aval présentent des formes identiques ; on note néanmoins qu'au-delà de la cote 050, pour les plus fortes crues, la cote amont continue à augmenter (jusqu'à 063 le 22/08/78) alors que la cote aval reste inférieure à 445.
- après le 30/05/79, cette tendance s'accroît et on note qu'au-delà de la cote 035-040, la cote aval subit d'importantes fluctuations et demeure constamment inférieure à 445.

Nous ne disposons pas de doubles lectures en 1980.

Nous avons représenté (fig. 14,15 et 16) les limnigrammes amont et aval de toutes les crues atteignant:

- la cote 050 à l'échelle amont au cours de la période du 08/04/78 au 31/05/79. Il s'agit des crues du 11/08/78, 22/08/78, 28/08/78.
- la cote 045 à l'échelle amont au cours de la période du 31/05/79 au 18/09/79. Il s'agit des crues du 31/05/79, 25/06/79, 13/07/79, 28/07/79, 29/08/79, 17/09 et 18/09/79.

Les autres limnigrammes n'ont pas été représentés et ont tous des formes identiques à l'amont et à l'aval.

Quoi qu'il en soit, il semble bien que la station aval soit le siège d'une mise en vitesse de l'écoulement au-delà d'une certaine cote, qui expliquerait entre autres le débit obtenu pour le jaugeage n°48 et les faibles coefficients de ruissellement des crues engendrées par des fortes pluies.

Nous avons donc entrepris de reconstituer la courbe de tarage de la station amont et indiquons ci-après les démarches entreprises dans ce but.

1/ Traduction du jaugeage en cotes amont

2/ Nous avons pu, à partir de ces jaugeages, estimer une première courbe de tarage de la station amont, valable jusqu'à la cote 030 environ.

Pour étalonner les hautes eaux, nous nous sommes appuyés sur :

. une extrapolation graphique

. les corrélations entre les Qmax des bassins S1, S2 et S3 à partir d'échantillons constitués par les crues de l'année 1979 dont la cote maximum à S2 ne dépasse pas 030 et dont le Qmax a pu être recalculé à

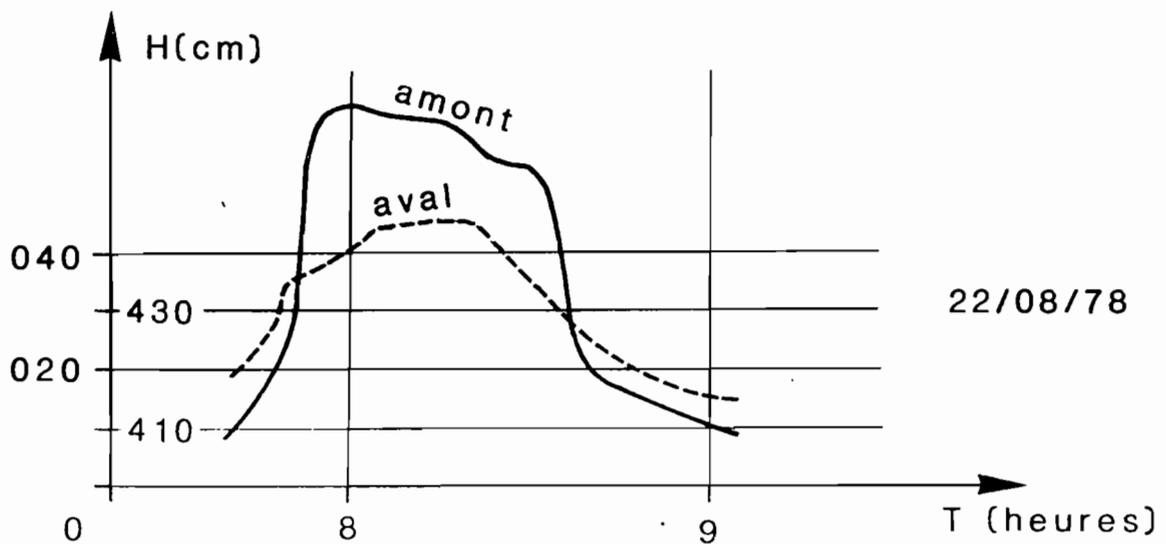
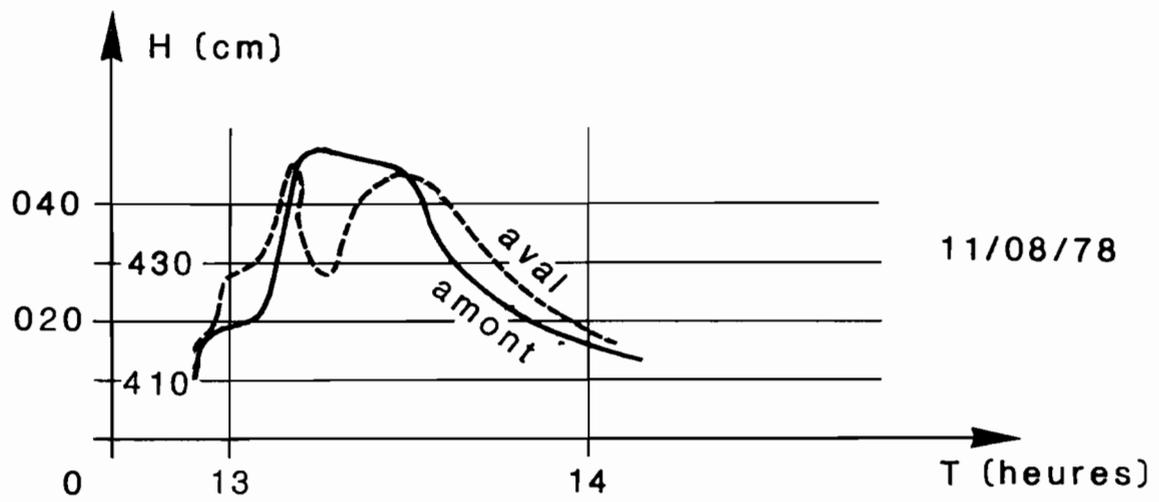
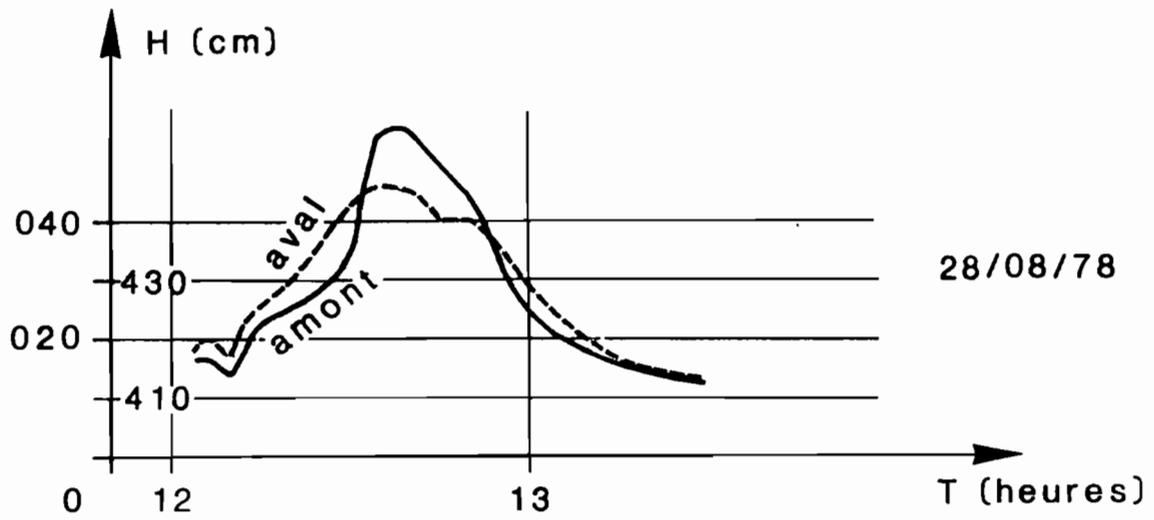


Figure 14

Comparaison limnigrammes station S2 station S2 aval amonts

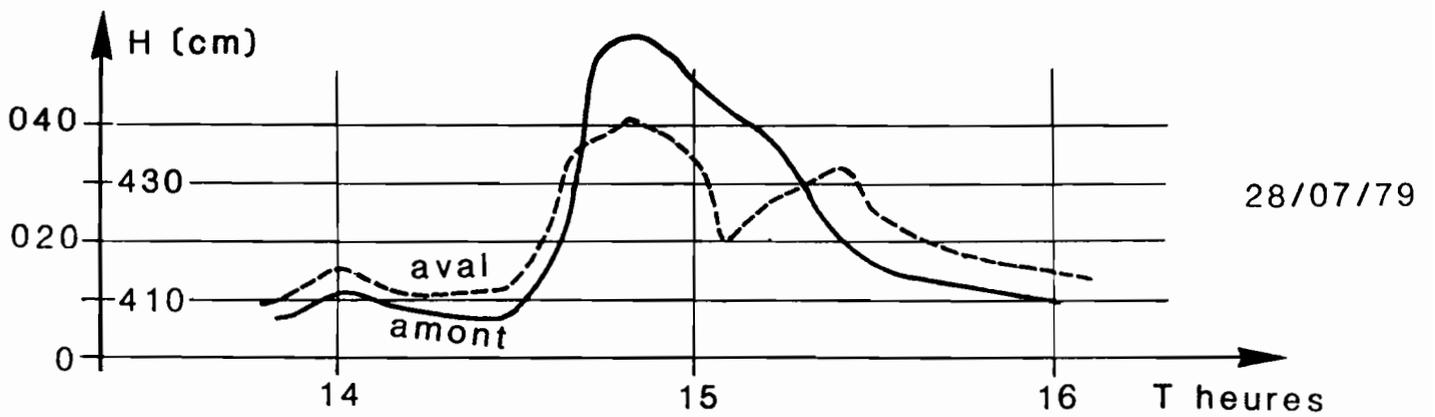
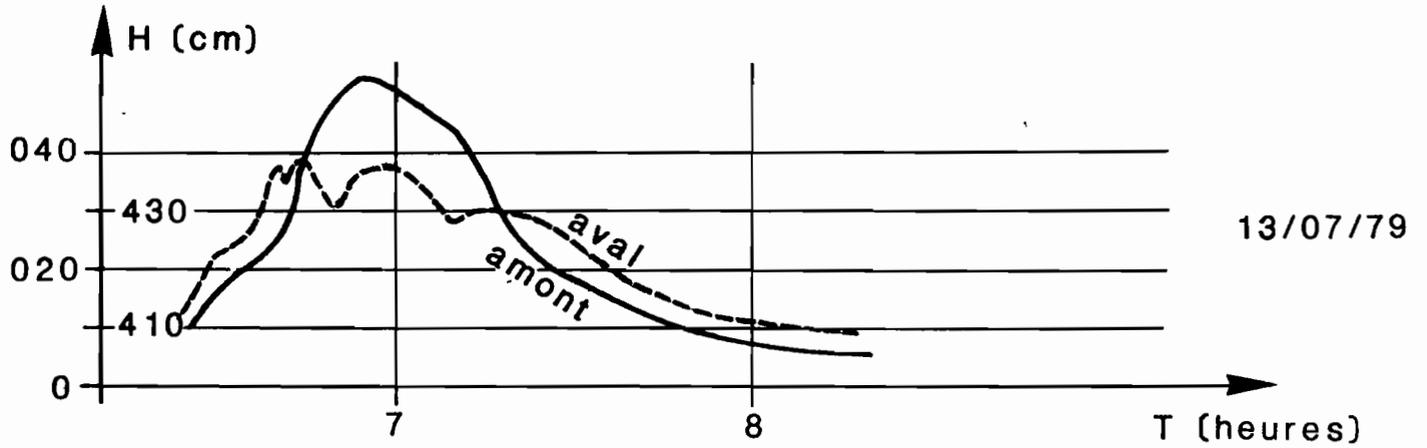
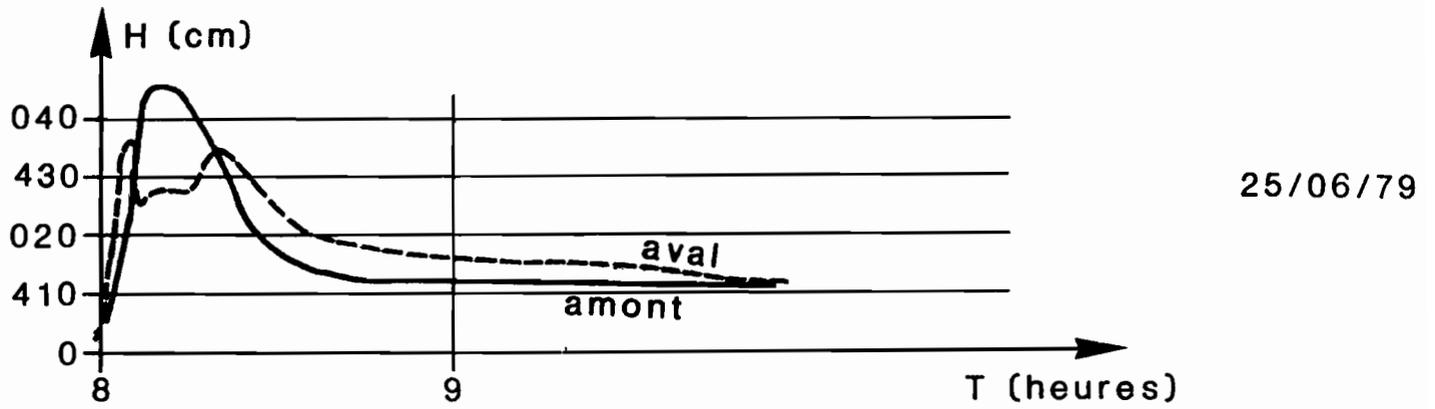
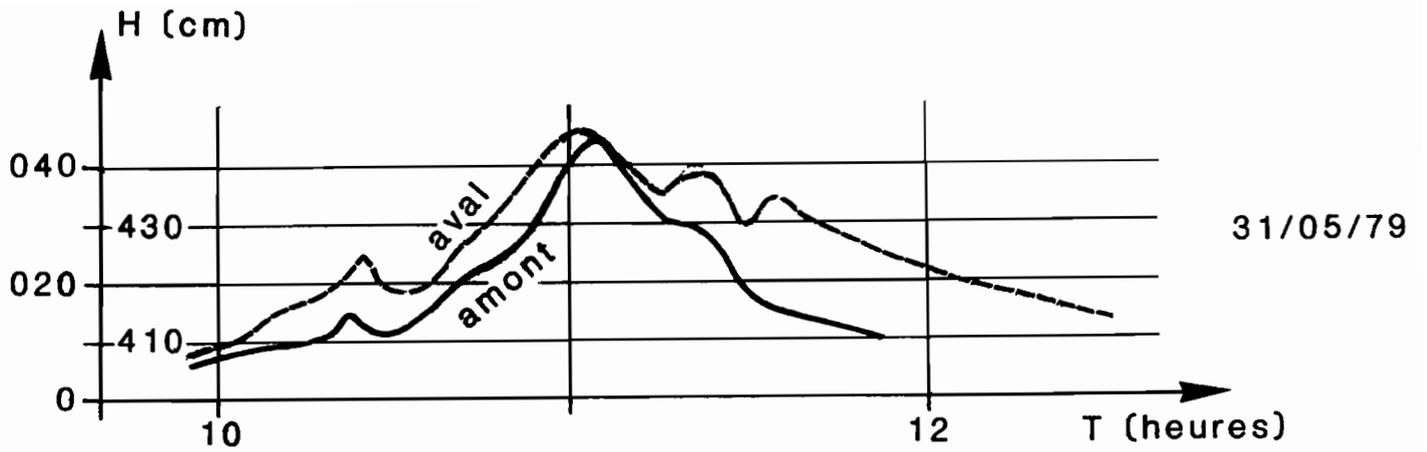


Figure 15

Comparaison limnigrammes station S2 amont _ station S2 aval

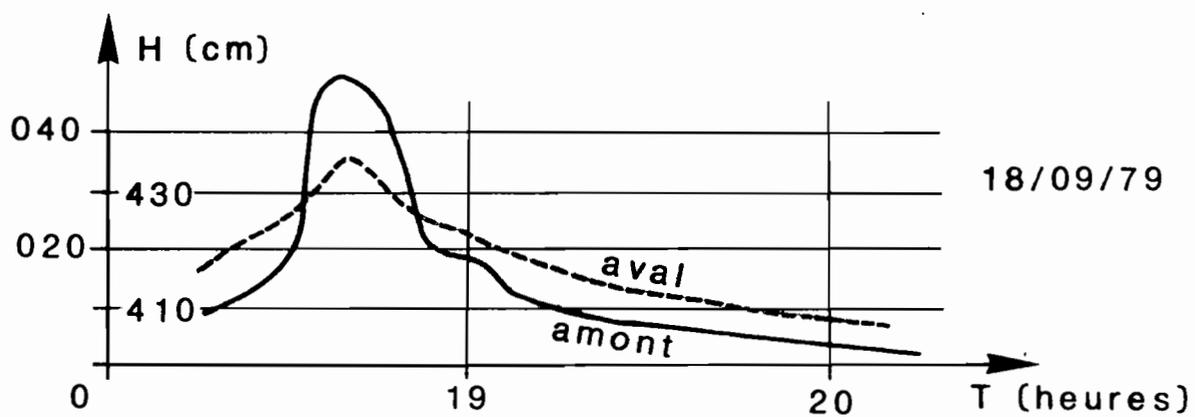
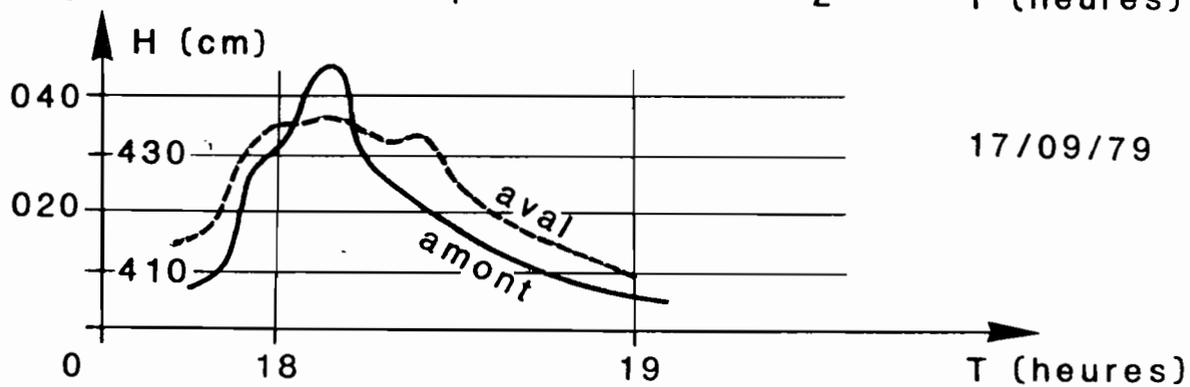
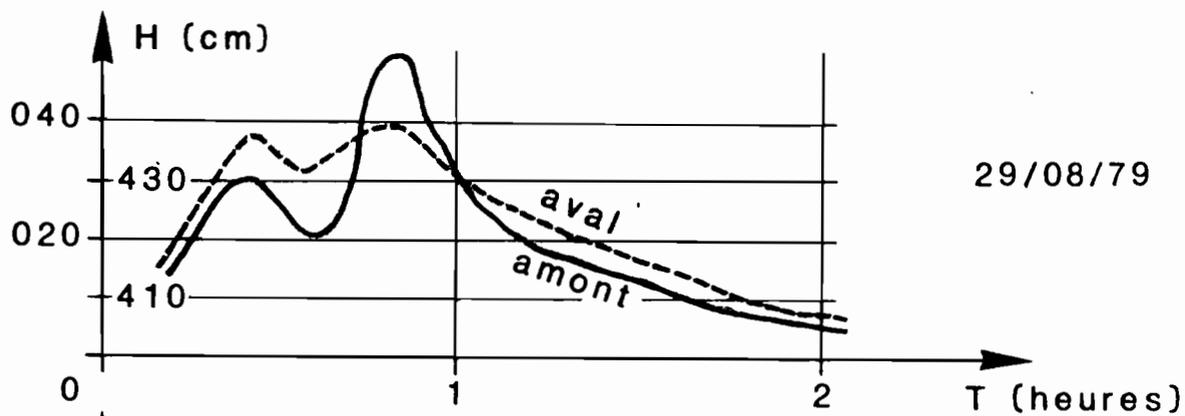


Figure 16

Comparaison limnigrammes station S2 amont _station S2 aval

partir du nouveau barême. Nous avons supposé que les régressions étaient linéaires (figure 17) et avons reconstitué les débits maximum des crues du 13/07/79 et du 28/07/79.

	Qmax S1	Qmax S3	Qmax S2(1)	Qmax S2(2)	Hmax
13/07/79	2,77	3,33	3,50	3,70	053
18/07/79	2,63	3,44	3,29	3,80	055

(1) reconstitué d'après la corrélation QmaxS1 - Qmax S2

(2) reconstitué d'après la corrélation QmaxS3 - Qmax S2

Compte tenu de l'extrême imprécision de cette corrélation dans laquelle intervient en facteur secondaire non négligeable la pluie moyenne tombée sur le bassin, nous considérons qu'une valeur moyenne de $Q = 3,50$ m³/s pour une cote de 050 cm qui s'ajuste assez bien avec l'extrapolation graphique de la courbe des basses et moyennes eaux, est acceptable.

Nous avons procédé de la même façon pour reconstituer la courbe de tarage de la station amont en 1978.

Ces courbes ont été tracées sur les figures 18 et 19 .

Nous indiquons également ci-après les nouveaux barêmes (Tab. 12), et les valeurs de Lr obtenues pour les crues les plus importantes de 1978 et 1979 :

Date	Lr	Date	LR	Date	Lr
01/06/78	42.5	22/08/78	29.9	25/06/79	16.0
08/06/78	28.8	28/08/78	19.0	13/07/79	24.5
11/08/78	18.7	31/05/79	19.6	28/07/79	31.0

L'ensemble des valeurs ainsi recalculées (1978 et 1979) donne une image plus satisfaisante de l'évolution des coefficients de ruissellement en fonction de la hauteur de pluie (fig. 20). Pour cette figure, les valeurs médianes de Kr ont été également recalculées :

0,45 pour la classe 10-20 mm

0,52 pour la classe 20-30 mm

CORRELATIONS ENTRE DEBITS MAXIMUM

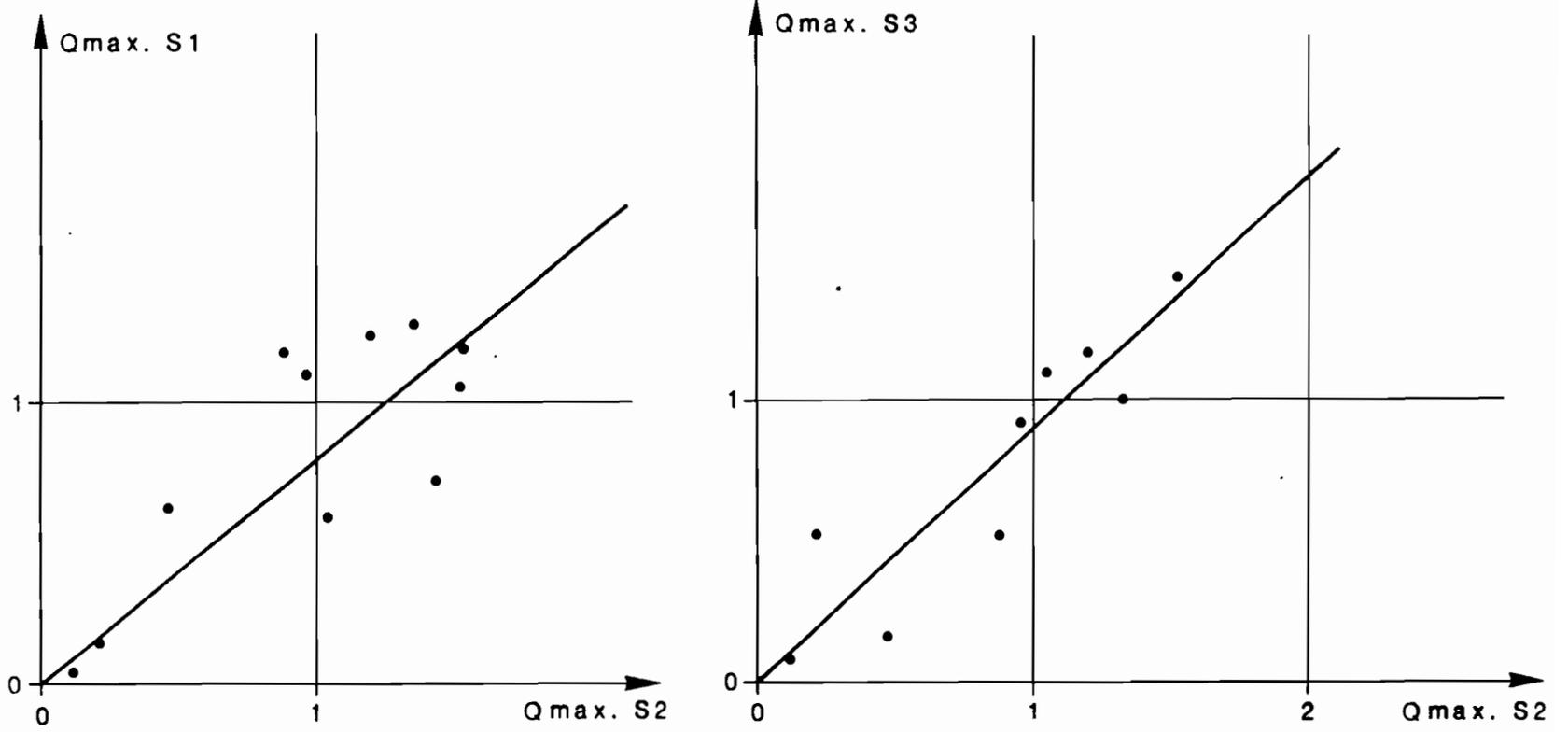


FIG. 17 : Corrélations entre débits maximum.

On voit que les corrections effectuées ne modifient pas la disposition d'ensemble des plus grosses crues, comparable à celle des bassins voisins, dans la mesure où :

- le Kr de la crue du 08/06/78 figure toujours parmi les plus élevés.
- les Kr des crues du 01/06/78 et du 22/08/78 figurent toujours parmi les plus faibles.
- les Kr des crues de 1979 occupent une position médiane.

En dépit donc de toute l'incertitude qui pèse sur la détermination du tarage de la station amont (traduction des cotes de jaugeage, extrapolation vers les hautes eaux), on peut considérer que les nouvelles valeurs obtenues sont assez fiables.

Tab 12 : Barèmes d'étalonnage de la station S2 amont

1978

du 01/05/79 au 31/05/79

du 31/05/79 au 31/10/79

H (cm)	Q (m3/s)
000	0
010	0,150
020	0,570
030	1,46
040	2,41
050	3,37
060	4,23
070	5,21

H (cm)	Q (m3/s)
000	0
010	0,250
020	0,700
030	1,48
040	2,41
050	3,37
060	4,23
070	5,21

H (cm)	Q (m3/s)
000	0
010	0,330
020	1,11
030	1,95
040	2,79
050	3,63
060	4,47
070	5,31

D'autre part, nous avons effectué les modifications suivantes :

1978 :

11/07 Séparation des averses

averse no 2 : Pm = 18,5 mm Pc = 17,0 mm Lr = 6,2 mm

Tp = 45 mn Ta = 60 h

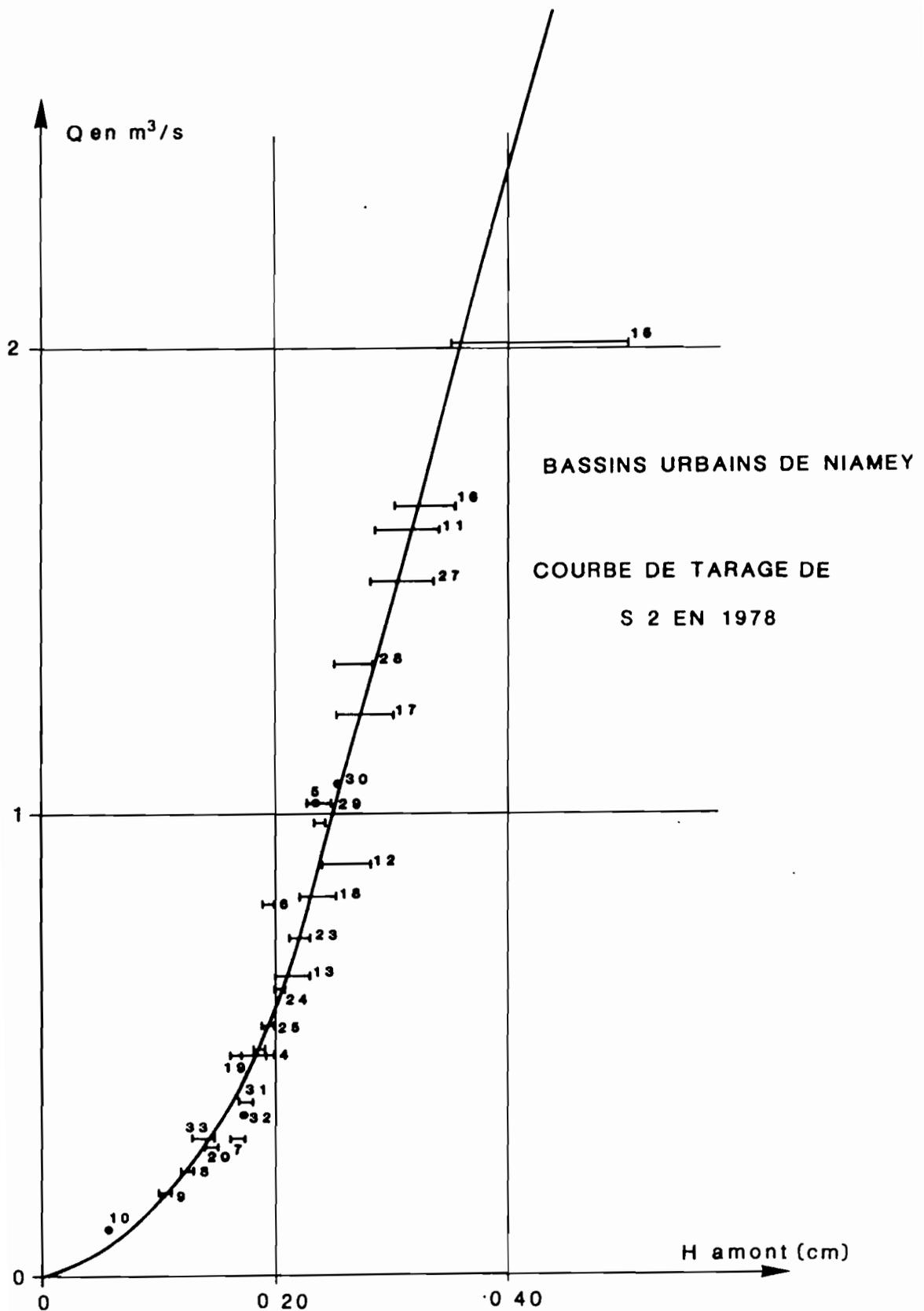


Fig. 18 : Courbe de tarage de S2 en 1978.

Station amont.

Les segments horizontaux représentent les variations de cote en cours de jaugeage.

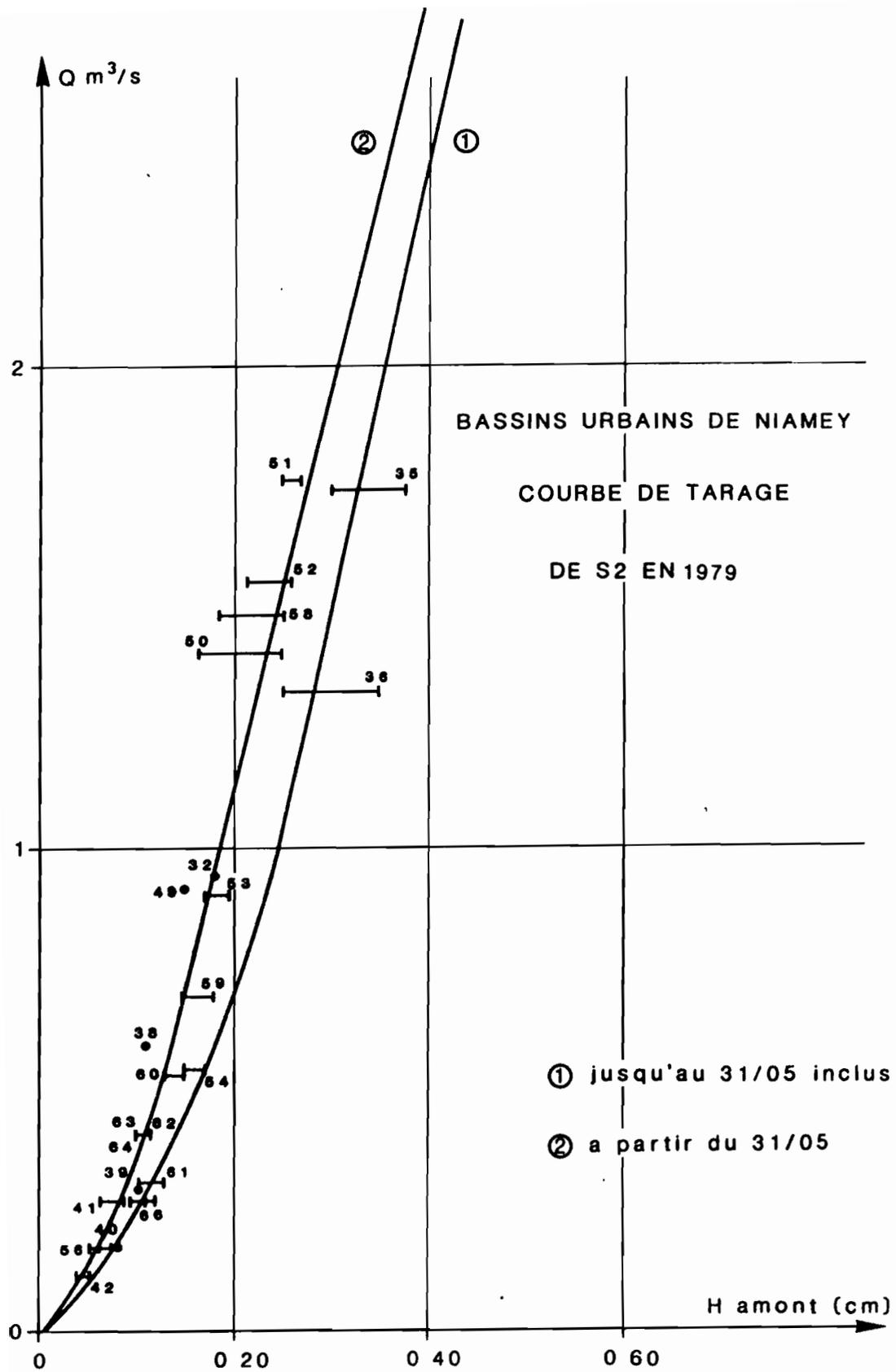


Fig. 19 : Courbe de tarage de S2 en 1979.

Station amont.

Les segments horizontaux représentent les variations de cote en cours de jaugeage.

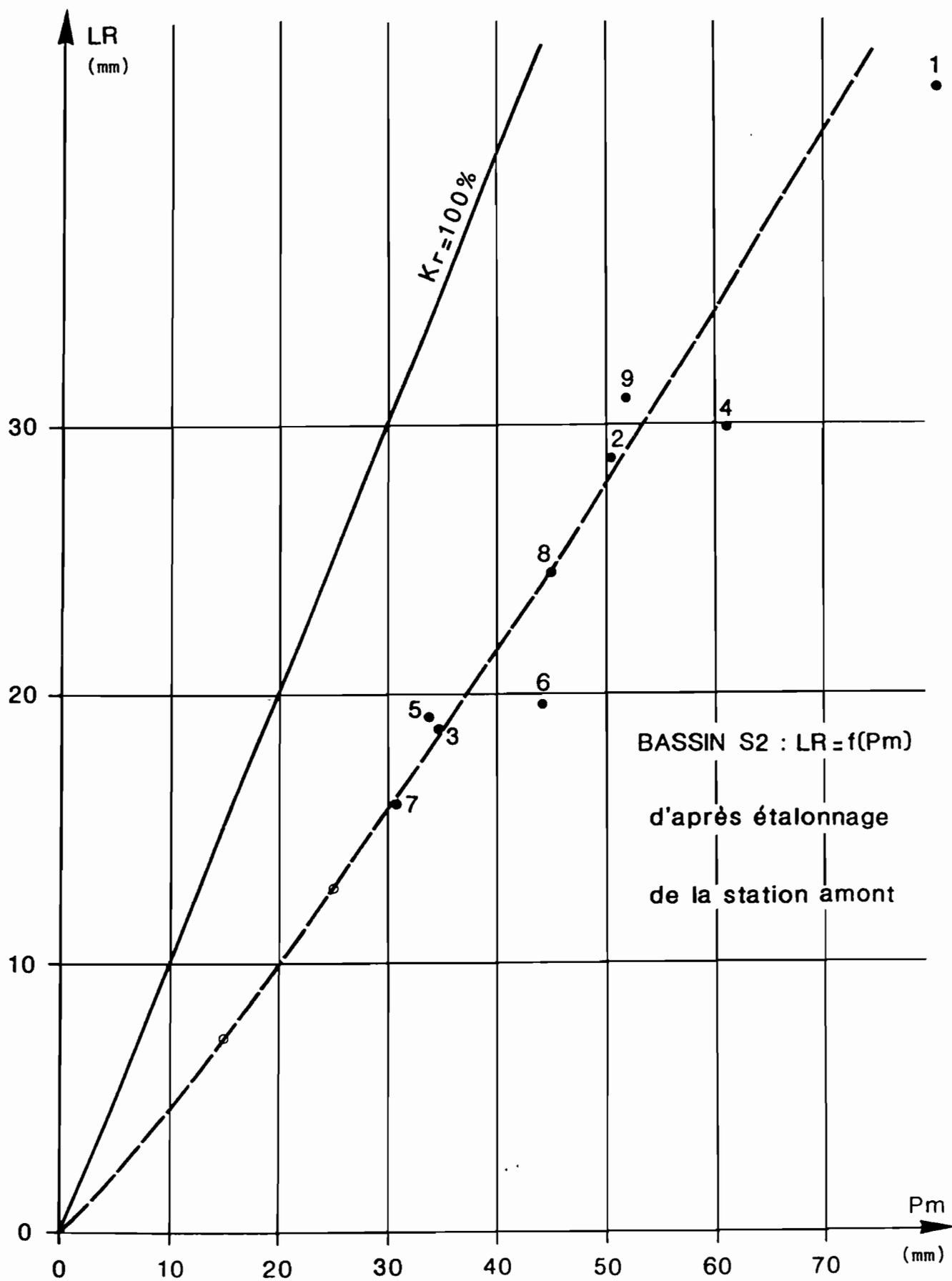


Fig. 20 : Bassin S2. Comparaison pluie-lame ruisselée.

○ KR médian calculé à partir des averses de la classe correspondante

02/08 Séparation des averses

averse no 1 : Pm = 21,0 mm Pc = 19,0 mm Lr = 11,5 mm

Tp = 35 mn Ta = 29 h

averse no 2 : Pm = 8,5 mm Pc = 8,10 mm Lr = 3,9 mm

Tp = 30 mn Ta = 3 h

1979 :

22/08 averse corrigée de l'épisode pluvieux précédent de 2 mm

Pm = 19,0 Pc = 17,5

Nous n'avons pas tenu compte des crues de la période du 29/08/79 au 18/09/79, qui semblent anormalement fortes.

1980

02/07) (19,6
06/08) redépouillement des hydrogrammes de la station aval : Lr = (11,7
04/09) (9,5

Bassin S3

Les courbes de tarage établies pour l'année 1978 sont très incertaines :

- l'écoulement est perturbé par une mise en charge à l'aval qui provoque une remontée des eaux au niveau de la station (courbe en S). les hautes eaux (PHE = 520) sont très supérieures à la hauteur maximale jaugée (466), et du fait de la forme de la courbe de tarage, l'extrapolation pour ces valeurs n'est pas sûre.

- de nombreux mouvements du lit interviennent cette année là sans qu'il soit vraiment possible de les préciser, le premier jaugeage ayant lieu le 29/07. Le détarage de la station survient probablement avant le 26/06/78, dont la crue présente des caractéristiques (Qmax, Lr, Kr) anormalement fortes. De même, les lames ruisselées antérieures au 26/06 semblent fortes.

Nous avons d'autre part effectués les modifications suivantes :

1978 :

11/07 : Séparation des averses

averse no 2 : Pm = 18,5 mm Pc = 17,0 mm Lr = 2,5 mm

Tp = 45 mn Ta = 60 h

29/07 : nous avons éliminé cette crue dont la hauteur maximale est de 419, alors que la hauteur H = 466 a été jaugée.

02/08 : séparation des averses

averse no 1 : $P_m = 19,5 \text{ mm}$ $P_c = 18,0 \text{ mm}$ $L_r = 2,5 \text{ mm}$

$T_p = 32 \text{ mn}$ $T_a = 29 \text{ h}$

averse no 2 : $P_m = 13,0 \text{ mm}$ $P_c = 12,0 \text{ mm}$ $L_r = 2,0 \text{ mm}$

$T_p = 30 \text{ mn}$ $T_a = 3 \text{ h}$

1979 :

06/07 : nous avons éliminé cette crue dont la hauteur maximale est de 344, alors que la cote $H = 360$ a été jaugée.

16/07 : nous avons éliminé cette crue dont la hauteur maximale est de 344, alors que la cote $H = 347$ a été jaugée.

22/08 : pluie corrigée de l'épisode pluvieux précédent de 2,0 mm
 $P_m = 17.0$ $P_c = 15.3$

06/09 : la valeur de L_r figurant dans le tome 1 ($L_r = 13.9$) correspond en fait à la lame ruisselée engendrée par la première averse ($P_m = 20.0 \text{ mm}$) $K_r = 70\%$. Nous avons éliminé cette valeur très douteuse.

1980 :

30/06 : séparation des averses

averse no 1 : $P_m = 15.0 \text{ mm}$ $P_c = 13.5 \text{ mm}$ $L_r = 5.2 \text{ mm}$

$T_p = 25 \text{ mn}$ $T_a = 127 \text{ h}$

2.3. Interprétation des données

Sur ces bassins, c'est le type d'habitat T3 qui domine, puisque celui-ci se rencontre sur 85 % de la surface du bassin S1, 93 % de celle du bassin S2, et 69 % de celle du bassin S3. Les mesures de ruissellement faites sur ces bassins doivent donc permettre de trouver un mode d'évaluation du ruissellement sur bassin de type T3.

Nous avons repris le modèle adopté pour représenter la relation pluie-lame ruisselée à Ouagadougou, et nous en rappelons les principaux points.

2.3.1. Rappels sur le modèle

La démarche consiste à déterminer pour chacune des zones suivantes:

. surfaces imperméables = C.S, dont C1.S sont reliées directement au réseau (C1 + C2 = C)

. surfaces perméables recevant de l'eau en provenance des surfaces imperméables = C3.S

. surfaces perméables ne recevant pas d'eau en provenance des surfaces imperméables = (1-C-C3).S

la contribution au volume total écoulé à l'exutoire = LR.S

Pour chacune de ces zones, nous pouvons écrire:

$$V \text{ écoulé} = V \text{ reçu} - V \text{ infiltré} - V \text{ stocké}$$

En admettant les hypothèses suivantes:

. la pluie d'imbibition est toujours négligeable, ou peut être incluse dans la fonction de stockage

. la lame infiltrée est une fonction de la durée du corps de l'averse = INF(Tp). Elle est reliée à l'intensité instantanée d'infiltration I(t) par la relation:

$$INF(Tp) = \int_0^{Tp} I(t) dt + N \int_{Tp}^{Tp+Tc} I(t) dt$$

avec Tc temps de concentration du bassin

N proportion moyenne de surface sur laquelle continue le ruissellement après la fin du corps de l'averse.

Dans ces conditions, la hauteur de la pluie efficace sur les surfaces perméables s'écrit:

$$R = Pc + N (P - Pc) - INF(Tp)$$

avec Pc hauteur du corps d'averse

P hauteur totale de l'averse

. le stockage superficiel est nul sur les surfaces imperméables et sur les surfaces perméables recevant de l'eau en provenance des surfaces imperméables (surfaces C et C3)

. le stockage superficiel est une fonction de la pluie efficace R sur les surfaces 1-C-C3, et s'écrit:

$$\begin{aligned} \text{STO}(R) &= \alpha \cdot R \quad \text{si } R < R1 \\ &= \alpha \cdot R1 \quad \text{si } R > R1 \end{aligned}$$

avec

α = proportion de volume stocké

R1 = seuil de pluie efficace au-delà duquel le stockage est maximum. La valeur de ce seuil, qui dépend de l'état initial du remplissage des flaques, se déduit de R0 (valeur du seuil sur sol sec) et d'une fonction Ds du temps de ressuyage Ta entre les averses:

$$\alpha \cdot R1 = \alpha \cdot R0 - S1'$$

avec S1' = quantité d'eau stockée en flaques au début de l'averse n° i

et

$$S1' = S1-1 + Ds(Ta)$$

avec S1-1 = quantité d'eau stockée en flaques à la fin de l'averse n° i-1

nous obtenons le système d'équations suivant:

$$\text{si } R = Pc + N \cdot (P - Pc) - \text{INF}(Tp)$$

- | | |
|----------------------------------|---|
| a) $R + (C2/C3) \cdot P \leq 0$ | $Lr = C1 \cdot P$ |
| b) $-(C2/C3) \cdot P < R \leq 0$ | $Lr = C \cdot P + C3 \cdot R$ |
| c) $0 < R \leq R1$ | $Lr = C \cdot P + R \cdot (1 - C - (1 - C - C3) \cdot \alpha)$
$= C \cdot P + R \cdot B$ |
| d) $R1 \leq R$ | $Lr = C \cdot P + R \cdot (1 - C) - R1 \cdot (1 - C - C3) \cdot \alpha$
$= C \cdot P + R \cdot (1 - C) - R1 \cdot (1 - C - B)$ |

Les objectifs de l'interprétation des données sont donc:

- . la définition de la fonction INF(Tp)
- . la détermination des paramètres B, R0 et N
- . la définition de la fonction Ds(Ta)

2.3.2. Analyse des données acquises sur les bassins

Les résultats obtenus sur les 3 bassins nous ont incités à présenter séparément les lames ruisselées calculées :

- pour les crues causées par des pluies < 50 mm
- pour les crues causées par des pluies > 50 mm qui ont pu être mesurées. Ces dernières sont au nombre de 4 : 01/06/78, 08/06/78, 22/08/78 et 15/07/80.

Nous avons représenté sur les figures 21, 23 et 25 les comparaisons lame ruis-

selée observée - lame ruisselée calculée, établies pour chaque bassin d'après les résultats reportés en annexe 2 (tableaux 17 à 24), obtenus à partir des valeurs des paramètres suivantes :

Bassin S1	B = 0,20		
	Ro = 20,0 mm	INF(Tp) = 3,3. Tp/60 + 25,5. (1-exp(-0,028 Tp))	
	W = 0,80		
	C3 = 0,20	DS(Ta) = exp(-0,21. Ta)	
Bassin S2	B = 0,42		
	Ro = 10,0 mm	INF(Tp) = 6,7. Tp/60 + 13,4. (1-exp(-0,030 pP))	
	W = 0,80		
	C3 = 0,20	DS(Ta) = exp(-0,21. Ta)	
Bassin S3	B = 0,20		
	Ro = 10,0 mm	INF(Tp) = 3,3. Tp/60 + 22,5. (1-exp(-0,028. Tp))	
	W = 0,80		
	C3 = 0,10	DS(Ta) = exp(-0,21. Ta)	

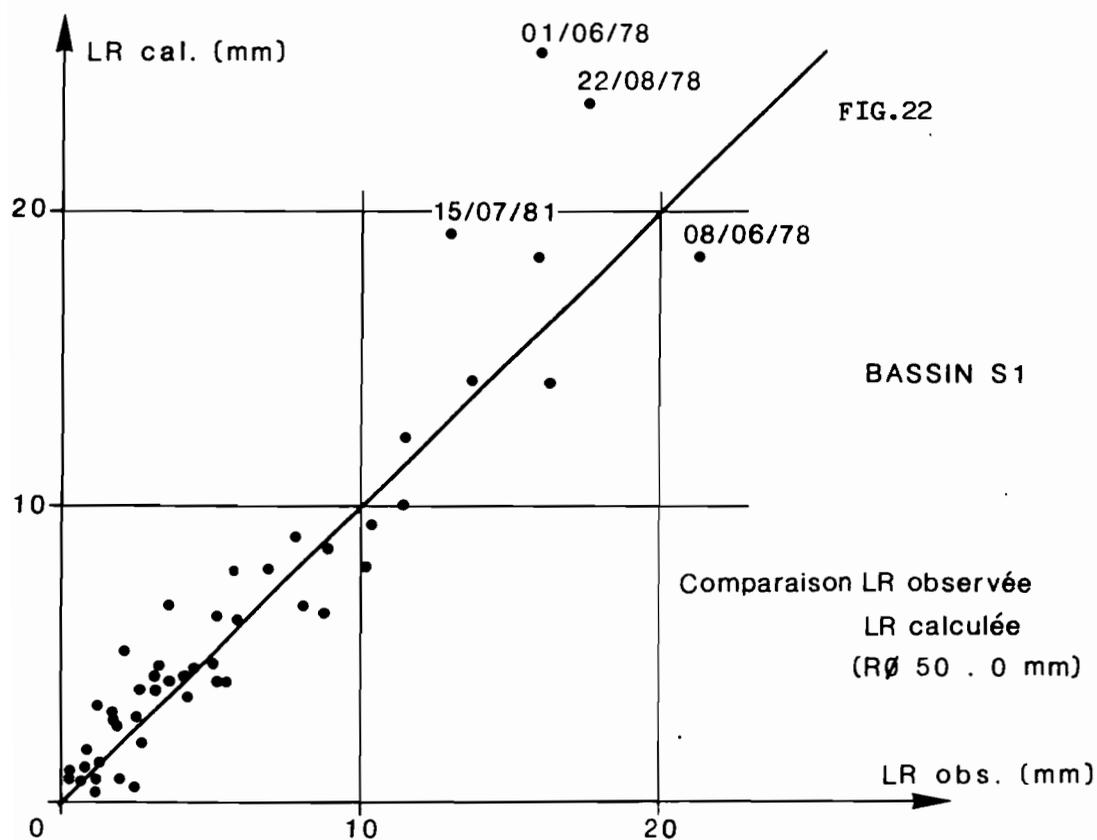
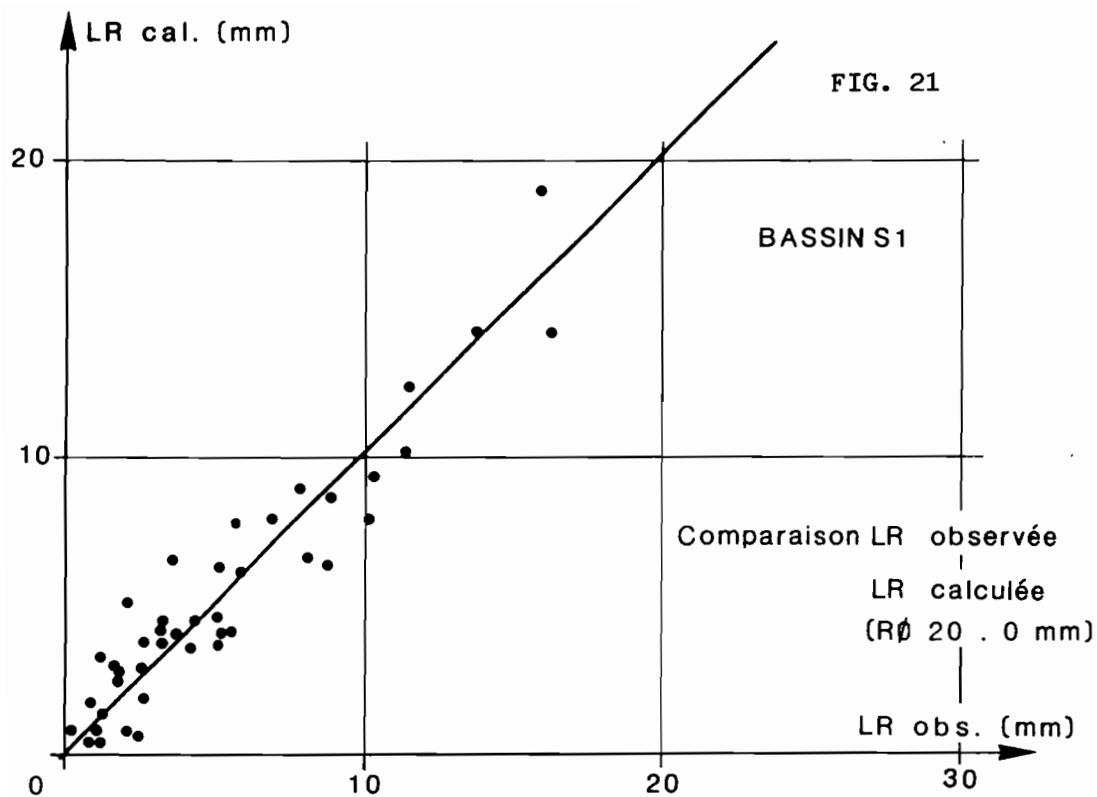
Si la dispersion des points ne semble pas excessive, les lames ruisselées calculées pour les crues du 01/06/78, 08/06/78, 22/08/78 et 15/07/80, induisent un sérieux doute quant à la validité du modèle, du moins sous cette forme première.

En effet, nous trouvons pour ces crues les valeurs suivantes :

	Date	P	Pc	Tp	LR obs.	LR cal.	erreur relative
Bassin S1	01/06/78	67,5	55,3	105	16.9	33.3	+ 97%
	08/06/78	54,4	51,9	177	21.3	18.4	- 14%
	22/08/78	58,6	57,5	40	17.5	33.7	+ 93%
	15/07/80	55,0	51,7	115	13.0	20.1	+ 55%
Bassin S2	01/06/78	77,9	60,0	105	42.5	55.9	+ 32%
	08/06/78	50,5	48,0	175	28.8	24.9	- 14%
	22/08/78	60,6	54,5	40	29.9	47.8	+ 60%
	15/07/80	-	-	-	-	-	-
Bassin S3	01/06/78	64,4	51,9	105	20.0	35.1	+ 76%
	08/06/78	43,4	42,5	180	18.0	12.1	- 33%
	22/08/78	56,0	53,9	40	16.2	36.1	+ 123%
	15/07/80	56,7	51,5	95	13.9	26.5	+ 91%

Compte tenu de ces écarts énormes, nous avons dans un premier temps cherché à tester la sensibilité du modèle, dans le but de déterminer le poids des différents paramètres dans le calcul de la lame ruisselée :

pour fixer les idées, nous avons calculé δ LR, l'erreur commise sur la valeur de la lame ruisselée, pour la crue du 01/06/78 sur S1, en supposant qu'un seul des paramètres B, W, INF ou Ro soit erroné à 50% près:



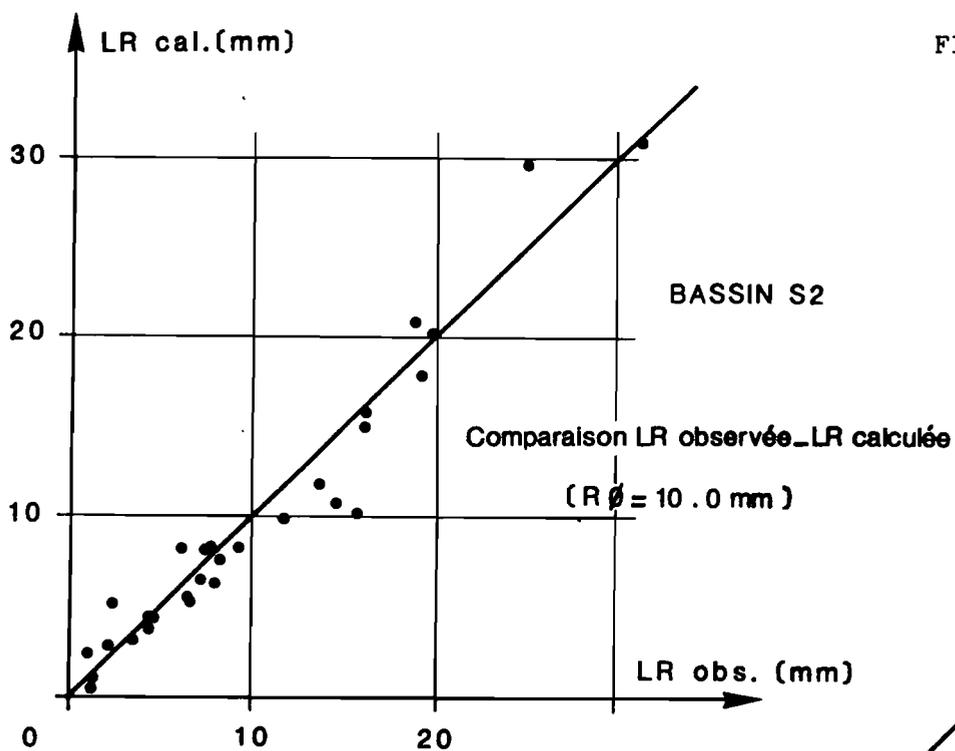


FIG. 23

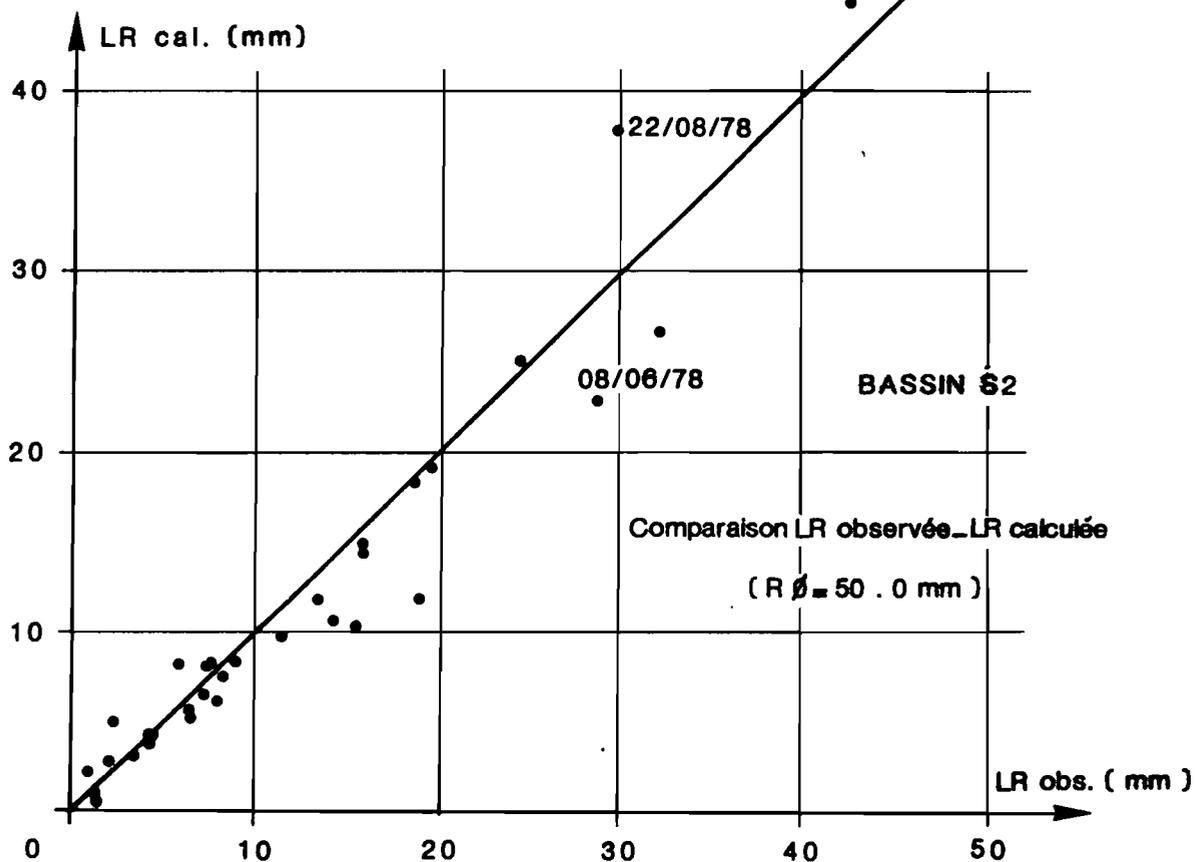
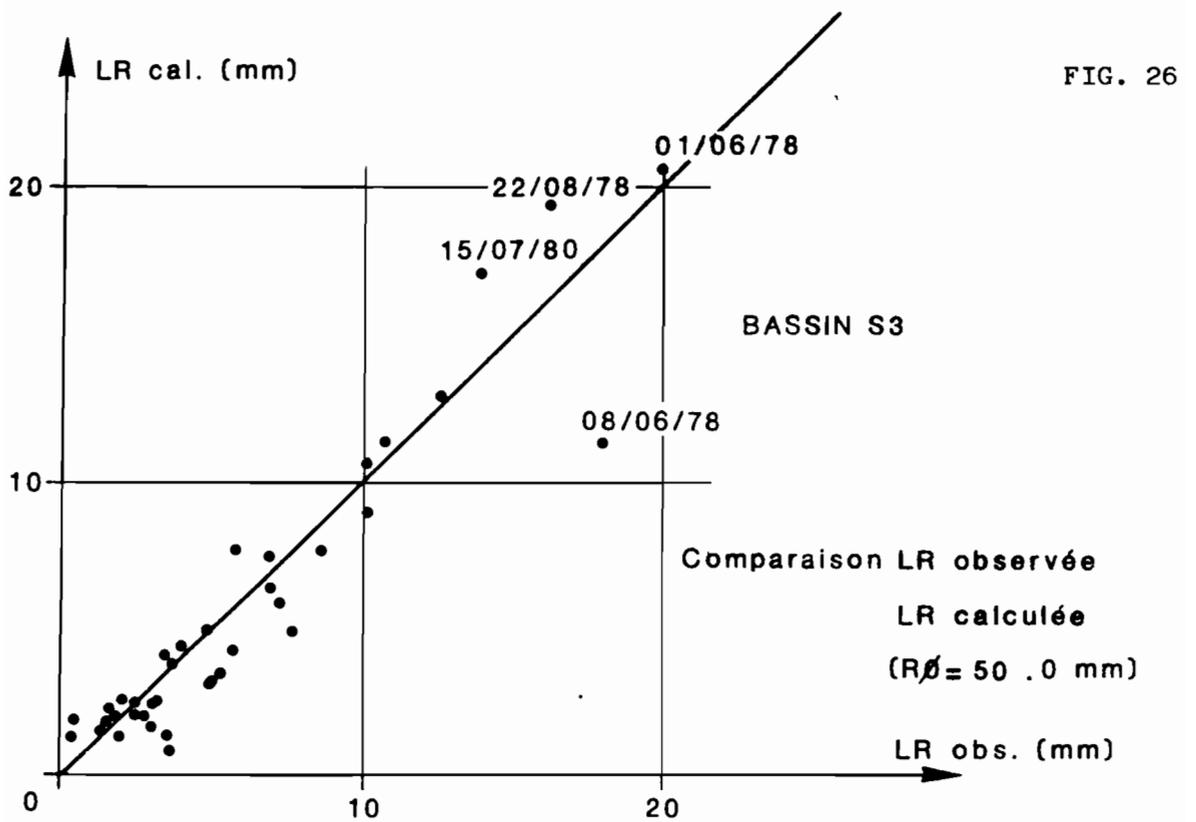
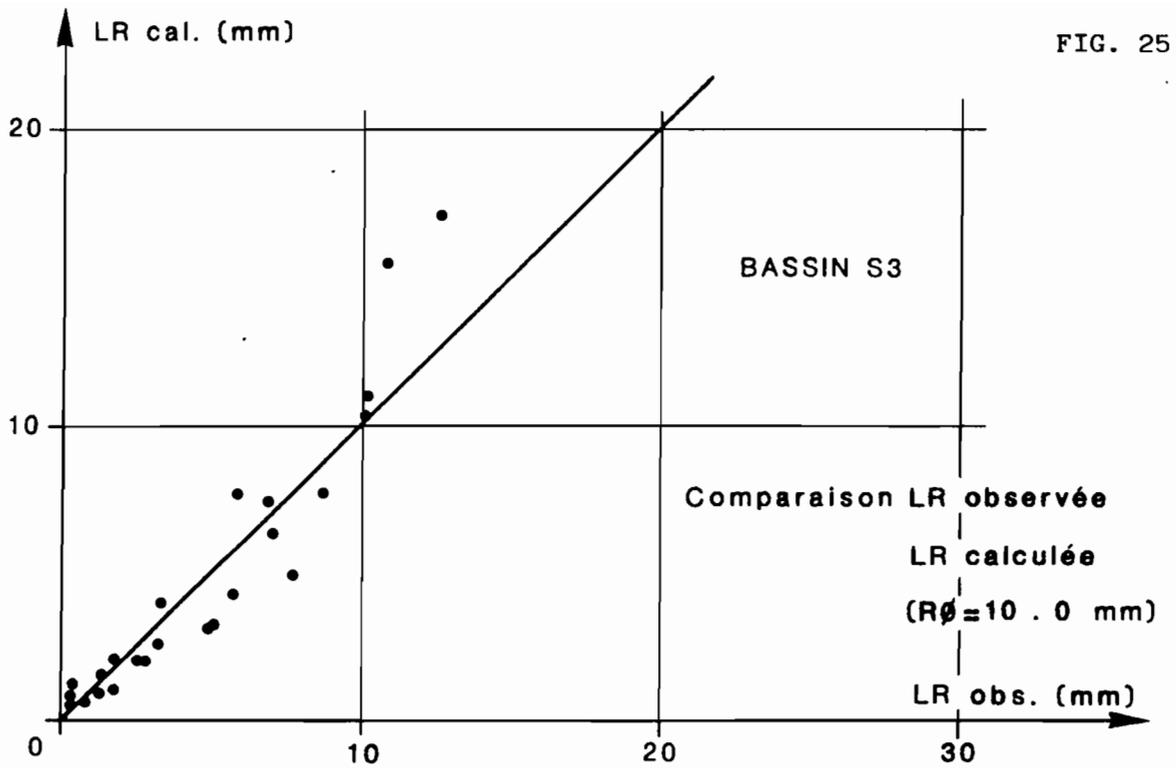


FIG. 24



$$\text{de } LR = C.P + (1-C).(P_c + W.(P - P_c) - INF(T_pP)) - (1-C-B).R_o$$

$$\text{on déduit } \delta LR = (1 - C)(P - P_c).\delta W + (1 - C).\delta INF + R_o.\delta B + (1 - C - B).\delta R_o$$

A partir des valeurs de B, W, INF et R_o déterminées pour le bassin S1, nous obtenons donc :

$$\frac{\delta B}{B} = 0,5 \quad \delta LR = R_o.\delta B = 20 \times 0,1 = 2 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta W}{W} = 0,5 \quad \delta LR = (1 - C).(P - P_c).\delta W = 0,73 \times 12,2 \times 0,4 = 3,6 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta R_o}{R_o} = 0,5 \quad \delta LR = (1 - C - B).\delta R_o = 0,53 \times 10 = 5,3 \text{ mm}$$

$$\frac{\delta INF}{INF} = 0,5 \quad \delta LR = (1 - C).\delta INF = 0,73 \times 15 = 10,9 \text{ mm}$$

Cet exemple est tout à fait significatif de l'influence respective de chacun des paramètres du modèle dans le calcul de la lame ruisselée. On voit en particulier qu'on aura intérêt à estimer la fonction d'infiltration avec le maximum de précision :

- pour obtenir une meilleure qualité de l'ajustement
- pour pouvoir relier les paramètres du modèle à la signification physique qu'on leur a attribuée : ces paramètres se déduisant les uns des autres, l'erreur commise sur les uns rejaillirait sur les autres.

Nous allons revenir sur ces points en examinant chacun de ces paramètres:

1) Fonction d'infiltration INF(T_p)

Nous avons tracé pour chaque bassin (fig. 27,28,29) la courbe INF(T_p), ainsi que le nuage de points (T_p, INF obs = f(LR obs)), les autres paramètres prenant les valeurs indiquées précédemment. Ces figures sont particulièrement intéressantes puisqu'elles indiquent pour chaque crue la valeur de la lame infiltrée (relative aux parties perméables du bassin) qu'on devrait obtenir en appliquant les équations du modèle avec L_r = lame ruisselée observée.

BASSIN S1

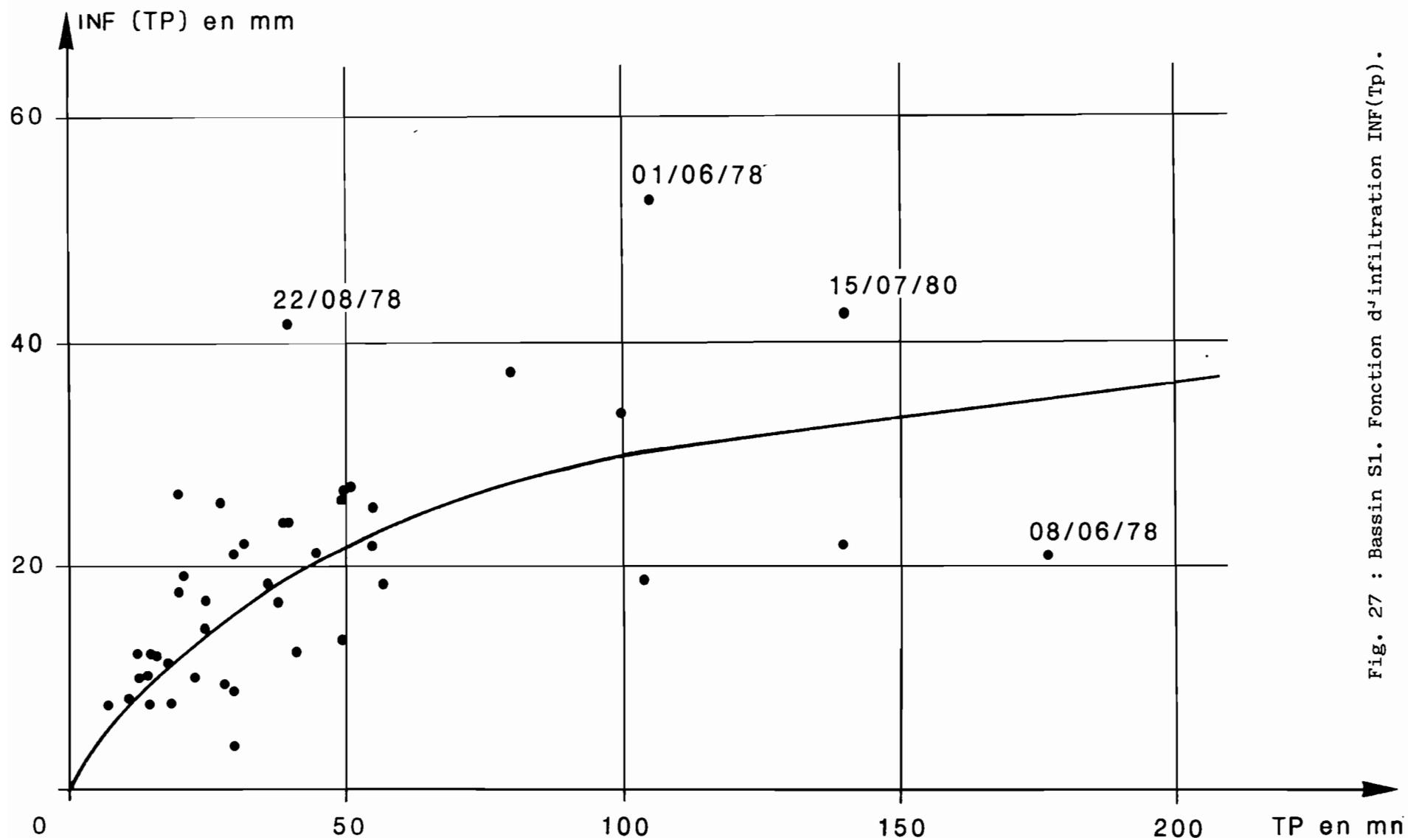


Fig. 27 : Bassin S1. Fonction d'infiltration INF(Tp).

BASSIN S2

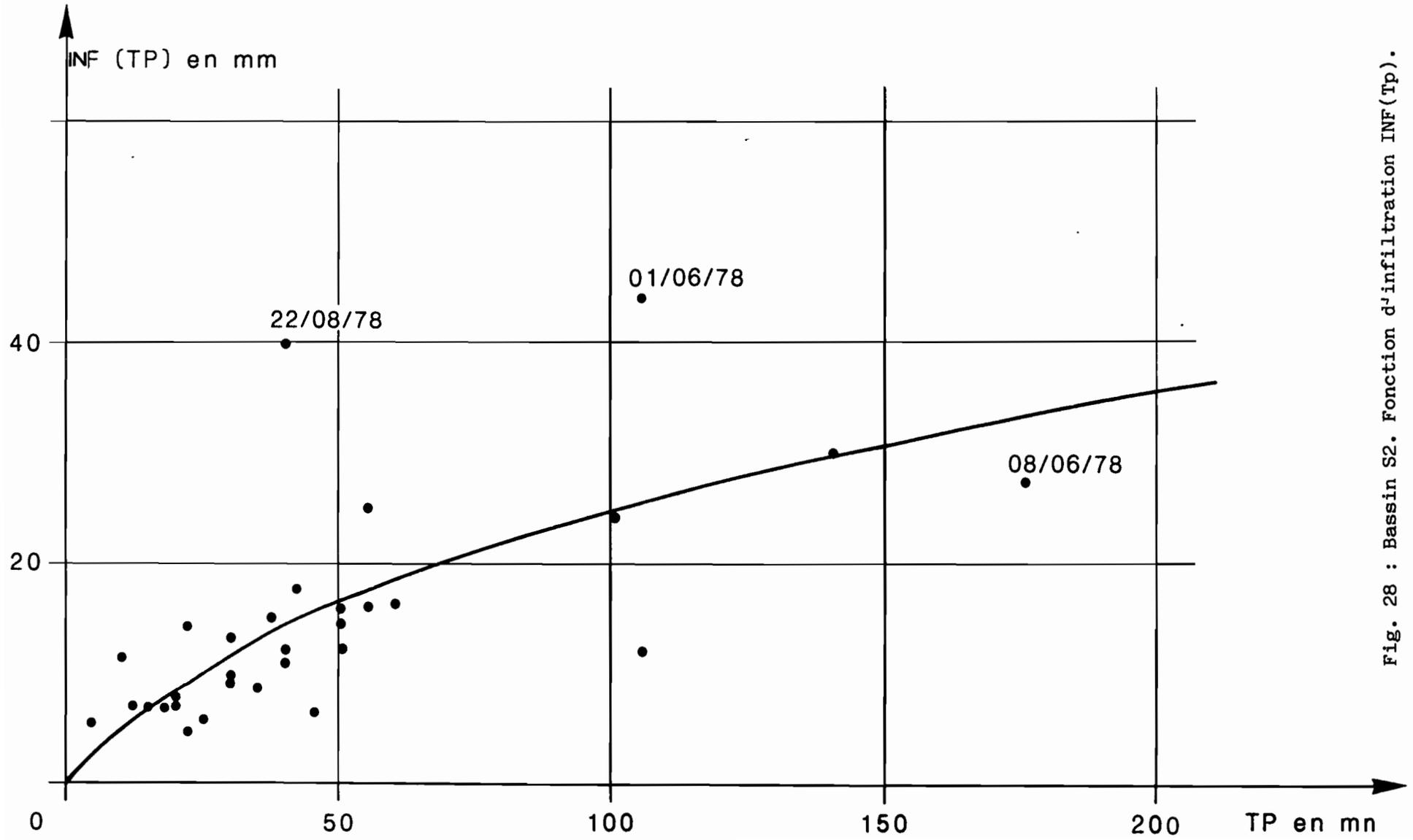


Fig. 28 : Bassin S2. Fonction d'infiltration INF(Tp).

BASSIN S 3

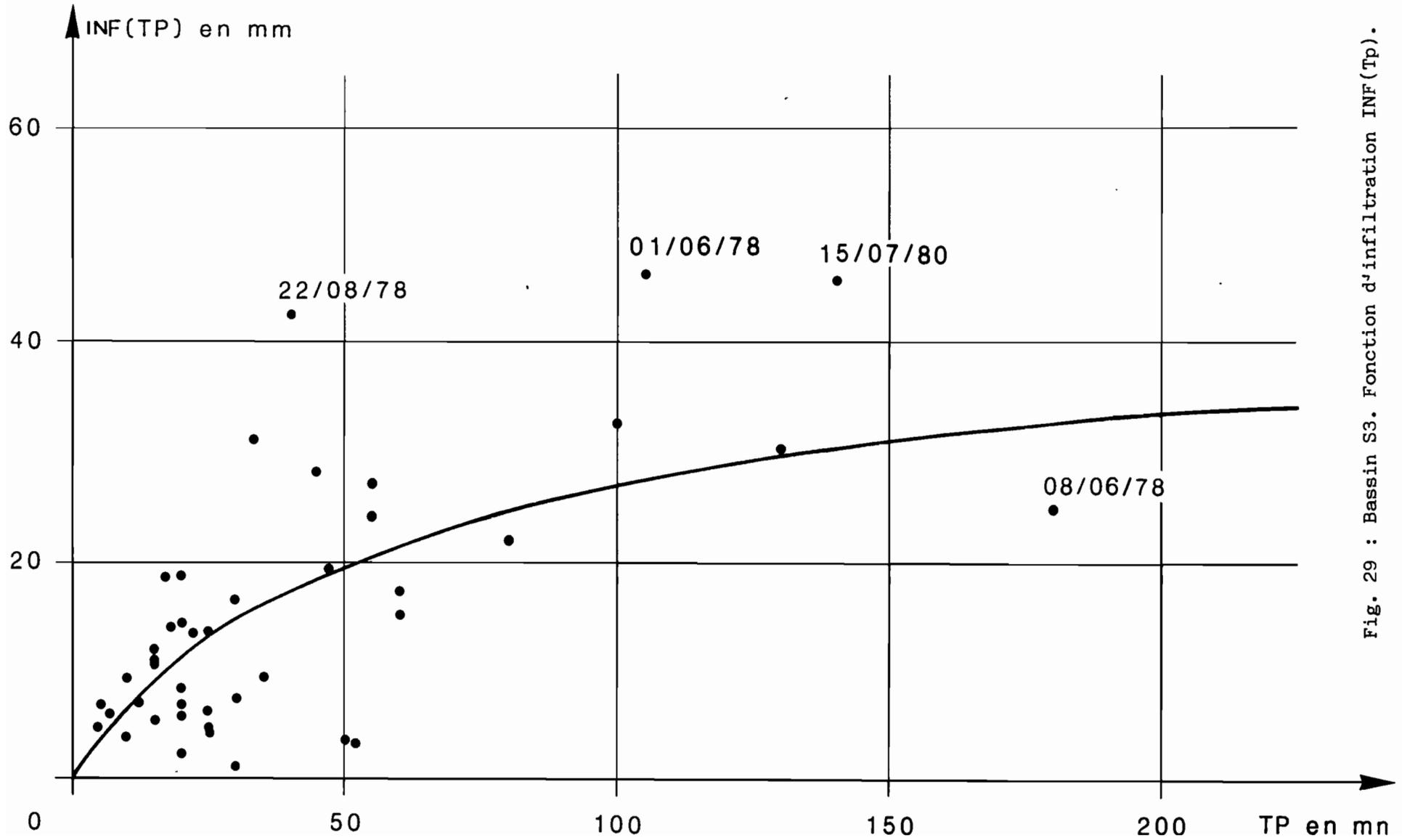


Fig. 29 : Bassin S3. Fonction d'infiltration INF(Tp).

Sans difficulté particulière, une fonction du type Horton a pu être choisie pour représenter la position moyenne de la courbe d'infiltration :

pour S1 $INF(Tp) = 3,3 Tp/60 + 25,5 (1 - \exp(-0,028 Tp))$
S2 $INF(Tp) = 6,7 Tp/60 + 13,4 (1 - \exp(-0,030 Tp))$
S3 $INF(Tp) = 3,3 Tp/60 + 22,5 (1 - \exp(-0,028 Tp))$

Les figures 27, 28, 29 montrent que la forme adoptée ne représente que très imparfaitement le processus réel d'infiltration et c'est sans doute là qu'il faut chercher la première cause des erreurs commises sur le calcul des lames ruisselées :

il n'est pas invraisemblable en effet que, pour la pluie du 01/06/78 survenant sur un sol pratiquement sec, ou pour la pluie du 22/08/78, qui présente des intensités très fortes, la lame infiltrée soit en réalité très supérieure à la valeur moyenne qui lui a été attribuée, comme c'est le cas sur les figures 27, 28, 29.

Il n'est pas invraisemblable non plus que pour la pluie du 08/06/78, survenant sur un sol relativement humide (voir crue du 01/06/78) et présentant des intensités très moyennes, la lame infiltrée soit en réalité inférieure à la valeur moyenne qui lui a été attribuée, comme c'est encore le cas sur les figures 27, 28, 29 .

Les conditions d'infiltration dépendraient donc non seulement de l'état d'humidité du sol, mais encore de l'intensité de la pluie. La mise en place d'un tel modèle n'a pas été abordée dans ce rapport et peut constituer l'un des premiers prolongements à donner à cette étude (voir 2.3.3.).

Nous conserverons donc cette forme simple $INF(Tp) = a.Tp/60 + b(1 - \exp(-c.Tp))$ pour représenter la fonction d'infiltration, tout en étant conscient qu'elle conduit notamment à sous-estimer la lame infiltrée d'une crue engendrée par une averse courte et intense (pluie efficace importante) ou survenant sur un sol sec.

2/ Capacité de stockage superficiel du bassin

Pour remédier au problème, nous nous sommes efforcés de compenser la sous-estimation des pertes par infiltration en augmentant la capacité de stockage superficiel du bassin :

La lame stockée a été définie (2.3.1.) avec deux paramètres α et R_0 de la manière suivante :

$S(R) = \alpha R$ si $R < R_1$
 $S(R) = \alpha R_1$ si $R > R_1$

R représentant la pluie efficace

α la fraction de la pluie efficace retenue sous forme de stockage superficiel.

R_1 la hauteur de la pluie efficace au-delà de laquelle le stockage est maximal sur le bassin.

Compte tenu du fait que :

- le modèle est peu sensible aux variations de B, donc de α
- la nature de la correction doit viser à surestimer la lame stockée d'une crue engendrée par une pluie efficace importante.

nous avons donc choisi d'augmenter la valeur de R_0 et calculé les lames ruisselées relatives aux plus grosses pluies pour chacun des bassins, avec $R_0 = 50,0$ mm, les autres paramètres conservant les valeurs définies précédemment:

		LR cal	LR obs	Delta
Bassin S1	Pluie du 01/06/78	25,2	16,9	+ 49%
	pluie du 08/06/78	18,4	21,3	- 14%
	pluie du 22/08/78	23,6	17,5	+ 35%
	pluie du 15/07/80	19,2	13,0	+ 48%
Bassin S2	pluie du 01/06/78	45,1	42,5	+ 6%
	pluie du 08/06/78	22,8	28,8	- 26%
	pluie du 22/08/78	37,9	29,9	+ 27%
	pluie du 15/07/80	-	-	-
Bassin S3	pluie du 01/06/78	20,5	20,0	+ 3%
	pluie du 08/06/78	12,1	18,0	- 33%
	pluie du 22/08/78	19,4	16,2	+ 20%
	pluie du 15/07/80	17,0	13,9	+ 22%

Les écarts obtenus entre LR cal et LR obs sont donc sensiblement diminués, et peuvent être considérés comme satisfaisant compte tenu de la précision des mesures (voir paragraphe 2.2) : sur S1 en particulier, où les écarts obtenus sont les plus importants, nous avons vu que les mesures des crues du 01/06/78, 22/08/78 et 15/07/80 étaient à considérer avec la plus grande prudence.

Nous avons repris le calcul de toutes les lames ruisselées en prenant $R_0 = 50.0$ mm pour chaque bassin, les autres paramètres restant inchangés / au début du paragraphe : les valeurs obtenues sont résumées dans les tableaux 25 à 32 de l'annexe 2 et les figures 22, 24 et 26 montrent que l'application du modèle fournit alors des résultats bien meilleurs que précédemment. Nous conserverons donc cette valeur $R_0 = 50.0$ mm pour calculer les débits spécifiques maximum de chaque bassin.

Le choix de cette valeur présente toutefois l'inconvénient de n'avoir jamais été atteinte au cours des trois années de campagne : c'est ici le problème de la transposabilité du modèle qui se pose.

3) Paramètres B, K, C3, α

Les considérations précédentes (mauvaise adéquation de la fonction d'infiltration, choix d'une valeur de R_0 artificielle, poids de l'influence de ces deux paramètres dans le calcul de la lame ruisselée) rendent sans doute

illusoire toute tentative d'interprétation de ces paramètres en fonction des caractéristiques du bassin. Nous pouvons noter cependant une certaine cohérence des résultats obtenus pour les bassins S1 et S3: ceux-ci présentent des caractéristiques assez semblables (pente, nature du sol, type d'habitat) et le calage du modèle pour ces 2 bassins a conduit à des valeurs très voisines pour B , $INF(Tp)$, R_0 et α .

On peut se demander si, dans l'hypothèse d'une meilleure connaissance des pertes par infiltration et par stockage superficiel, les valeurs de B et de $C3$ correspondraient à la signification physique qu'on leur a attribuée.

Cela ne semble pas possible en ce qui concerne $C3$, proportion de surfaces perméables recevant de l'eau en provenance de surfaces imperméables, surfaces que l'on peut grossièrement assimiler aux cours de concessions et routes goudronnées. En effet, les équations du modèle ont été établies en supposant que le stockage superficiel sur ces zones $C3$ était nul.

Des visites sur le terrain ont montré que c'était loin d'être le cas: il semble plus juste d'admettre que la capacité de stockage y est du même ordre que sur les surfaces $(1-C-C3)$.

Il en résulte que, pour que la lame stockée ne soit pas sous-estimée dans la conception actuelle du modèle, la valeur de $C3$ doit être la plus petite possible et ne peut représenter la proportion réelle de surfaces perméables recevant de l'eau en provenance des surfaces imperméables. Cet inconvénient ne peut disparaître qu'en établissant de nouvelles équations tenant compte du stockage sur $C3$ (voir annexe 1).

2.3.3. Conclusions

La détermination d'une relation pluie-lame ruisselée constitue le point de départ d'une simulation de la chronique des débits à partir de la chronique des pluies, et doit s'efforcer de respecter les conditions suivantes:

- bonne adéquation des valeurs calculées aux valeurs observées;
- utilisation de paramètres reliés d'une façon simple aux caractéristiques physiques du bassin, ceci garantissant la transposabilité du modèle.

Dans notre cas, nous avons vu que ce dernier point n'était pas réalisé, et nous estimons que cela est principalement dû à une mauvaise représentation du processus d'infiltration. Nous envisageons d'approfondir l'étude de ce paramètre :

1) en analysant, d'après les mesures effectuées lors des campagnes 1978, 1979 et 1980, la possibilité d'ajuster à l'échantillon une fonction d'infiltration à trois paramètres :

- T_p durée du corps de l'averse
- P_1 représentation de l'état d'humidité du sol
- P_2 représentation de l'intensité de la pluie

Cette démarche ne va pas sans poser quelques problèmes :

a) au niveau du choix des paramètres P_1 et P_2

P_1 pourrait être l'indice de Kohler, $I_{k_n} = (I_{k_{n-1}} + P_{n-1}) \exp(-\beta t)$ qui décrit mieux que T_a l'humidité du sol, puisqu'il fait intervenir la hauteur de la pluie précédente

P_2 pourrait être l'intensité moyenne du corps d'averse; mais la répartition des intensités du corps d'averse semble également intervenir

b) plus généralement, le calage de cette fonction d'infiltration est obtenu en fonction des valeurs attribuées aux autres paramètres du modèle.

Prenons par exemple le cas des lames infiltrées des crues du 01/06/78 et du 02/10/78 sur les bassin S3 :

pour $R_o = 10,0$ mm, le rapport des lames infiltrées est de $\frac{46.2}{22.0} \approx 2,1$

pour $R_o = 50,0$ mm, le rapport des lames infiltrées est de $\frac{29.5}{22.0} \approx 1,3$

pour deux averses de même durée $T_p = 105$

Toute erreur commise sur un ou plusieurs paramètres se répercutera donc sur INF.

2/ pour lever ces indéterminations, il serait souhaitable de procéder à des mesures d'infiltration par simulation de pluies d'intensités différentes sur des sols d'humidité variable :

. l'établissement de graphiques du type

$$I_{Inf} = f(I_p, IK)$$

avec

I_{Inf} = intensité d'infiltration
 I_p = intensité de la pluie
 IK = indice d'humidité du sol

permettrait d'envisager le calcul de la lame infiltrée à partir du hétérogramme de l'averse (tenant compte ainsi de la répartition des intensités) et de l'état initial d'humidité du sol.

On pourrait alors comparer en valeur relative les lames infiltrées des crues mesurées lors des campagnes 1978, 1979 et 1980.

. ce mode opératoire permettrait d'étudier isolément le processus d'infiltration et les mesures réalisées seraient indépendantes des autres caractéristiques du bassin.

Une fois le problème de l'infiltration tranché, on pourra analyser la signification des autres paramètres du modèle :

- C3 est effectivement la proportion de surfaces perméables recevant de l'eau des surfaces imperméables si on tient compte du stockage superficiel sur ces mêmes zones.

- pour α et R_0 , on essaiera de dégager une relation faisant intervenir la pente du bassin en particulier, en synthétisant les résultats obtenus sur l'ensemble des bassins étudiés.

3. ESTIMATION DE LA DISTRIBUTION DES DEBITS DE POINTE DE CRUE AUX STATIONS S1, S2, S3

Si on admet que la traîne d'averse a une influence négligeable sur la valeur du débit maximum de la crue causée par cette averse et si on peut écrire :

$$Q_{MASP} = K(T_p) \cdot LR$$

avec Q_{MASP} = débit spécifique de pointe de crue
 T_p = durée du corps d'averse
 LR = lame ruisselée due au corps d'averse

l'estimation de la fréquence d'un débit donné est un problème relativement simple à résoudre :

1) on effectue une partition de l'ensemble des corps d'averses, basée sur leur durée. Dans chaque classe de durée :

a) $K(T_p)$ est considéré comme constant

b) la fonction f_{T_p} , telle que $LR = f_{T_p}(P)$ sera considérée comme identique pour tous les corps d'averses, P étant la hauteur moyenne du corps d'averse sur le bassin.

2) Compte tenu de la petite taille des bassins ($< 1 \text{ km}^2$), nous avons considéré que pour chaque bassin, la pluie moyenne de fréquence f était égale à la pluie ponctuelle de fréquence f au poste de Niamey Aero :

on a donc

$$P = f^{-1}_{T_p}(Q_{MASP}/K(T_p))$$

La fonction f_{T_p} étant strictement croissante, la fréquence au dépassement de Q_{MASP} pour une classe de durée donnée est égale à celle de P , que l'on peut calculer à l'aide des ajustements faits au chapitre 2) Si F_T est la fonction de répartition de P , la fréquence au dépassement H_{T_p} de Q_{MASP} sera, pour la classe de durée centrée sur T_p :

$$H_{T_p}(Q_{MASP}) = F_{T_p}(f^{-1}_{T_p}(Q_{MASP}/K(T_p)))$$

3) On calcule alors la fréquence au dépassement de Q_{MASP} , qui est :

$$\begin{aligned} H(Q_{MASP}) &= \sum (H_{T_p}(Q_{MASP}) \cdot E_{T_p}) \\ &= \sum (F_{T_p}(f^{-1}_{T_p}(Q_{MASP}/K(T_p))) \cdot E_{T_p}) \end{aligned}$$

E_{T_p} étant l'effectif de la classe centrée sur la durée T_p (voir chap. 2)

On peut ainsi, en calculant $H(Q_{MASP})$ pour différentes valeurs, tracer points par points la distribution des débits de pointe de crue.

3.1. Les fonctions $K(T_p)$

Pour déterminer la fonction $K(T_p)$ pour les bassins S1, S2 et S3, nous n'avons considéré que les crues de lame ruisselée supérieure à 2,0 mm, causées par des averses à une seule pointe et n'ayant pas une traîne trop importante. On trouvera dans les tableaux 13, 14 et 15 les caractéristiques de ces événements averse/crue, ainsi que la valeur de $K(T_p)$ correspondante.

BASSIN S3 : Année 1978

N°	Date	P	TP	LR	Qmax	K(TP)
3	106	64.4	105	20.0	3.35	0.229
6	806	43.4	180	18.0	1.99	0.151
24	2208	56.0	40	16.2	4.15	0.351
25	2808	31.3	47	10.1	2.69	0.365
26	3008	17.8	30	5.7	1.76	0.423
28	909	30.0	60	8.6	2.60	0.414
35	210	28.0	80	6.9	1.27	0.252

BASSIN S3 : Année 1979

N°	Date	P	TP	LR	Qmax	K(TP)
5	3105	41.0	130	10.1	1.44	0.195
10	1606	9.3	15	2.7	0.93	0.472
16	1307	37.9	55	10.7	3.33	0.426
18	2107	12.4	25	3.2	1.01	0.423
19	2307	15.4	20	3.4	1.44	0.580
21	2807	45.4	100	12.5	3.44	0.377
27	2208	17.0	52	4.9	1.10	0.308
30	2908	28.4	55	6.8	2.34	0.471

BASSIN S3 : Année 1980

N°	Date	P	TP	LR	Qmax	K(TP)
16	1507	56.7	140	13.9	2.13	0.210
17	1707	10.1	15	3.0	1.5	0.525
23	108	9.0	85	2.2	0.38	0.236
33	3008	9.5	55	3.6	0.52	0.198
36	409	25.1	60	7.2	1.43	0.272
38	909	15.1	22	3.6	1.10	0.419
40	1809	17.8	30	4.0	1.08	0.404

TABLEAU 15 : Bassin S3 - Fonction K(Tp)

- P = Pluie moyenne (mm)
 TP = Durée du corps d'averse (ma)
 LR = Lane ruisselée (mm)
 Qmax = Débit maximum (m³/s)
 $K(TP) = \frac{Q_{max}}{LR \cdot S} (S^{-1} \cdot 10^{-3})$
 S = Surface du bassin (km²)

BASSIN S2 : Année 1978

N°	Date	P	TP	LR	Qmax	K(TP)
3	106	77.9	105	42.5	5.11	0.286
6	806	50.5	175	28.8	2.51	0.208
22	1108	34.2	42	18.7	3.37	0.429
24	2208	60.6	40	29.9	4.72	0.376

BASSIN S2 : Année 1979

N°	Date	P	TP	LR	Qmax	K(TP)
5	3105	43.9	140	19.6	2.90	0.352
10	1606	10.3	18	4.6	1.11	0.208
13	2506	30.5	50	16.0	3.21	0.478
15	607	26.2	50	13.5	1.70	0.300
16	1307	44.1	55	24.5	3.88	0.377
17	1607	19.9	40	9.2	1.61	0.417
18	2107	15.3	40	6.6	1.53	0.552
19	2307	14.3	25	8.0	1.70	0.506
21	2807	51.8	100	31.0	4.05	0.312

- P = Pluie moyenne (mm)
 TP = durée du corps d'averse (mn)
 LR = lame ruisselée (mm)
 Qmax = débit maximum (m³/s)
 $K(TP) = \frac{Q_{max}}{LR \cdot S} \quad (S^{-1} \cdot 10^{-3})$
 S = surface du bassin (km²)

TABLEAU 14 : Bassin S2 - Fonction K(Tp)

BASSIN S1 : Année 1978

N°	Date	P	TP	LR	Qmax	K(TP)
3	106	67.5	105	16.9	2.42	0.199
6	806	54.4	177	21.3	1.77	0.115
7	2006	23.5	50	8.2	1.83	0.309
8	2606	20.6	32	5.2	1.53	0.308
11	807	10.0	14	2.6	1.20	0.641
12	1107	18.5	45	4.4	1.30	0.410
16	2907	25.3	40	7.0	1.53	0.304
18	208	20.6	30	8.8	2.15	0.340
21	408	13.1	16	3.7	1.65	0.619
22	1108	30.0	41	11.4	2.65	0.323
23	1708	13.6	23	4.2	1.71	0.565
24	2208	58.6	40	17.5	2.57	0.235
25	2808	30.0	57	10.3	2.14	0.288
26	3008	20.9	36	6.0	1.65	0.382
28	909	28.7	55	8.9	1.53	0.239
34	2509	14.2	25	3.2	1.20	0.521
35	210	29.5	104	10.1	1.65	0.227

BASSIN S1 : Année 1979

N°	Date	P	TP	LR	Qmax	K(TP)
5	3105	44.4	140	16.2	1.85	0.159
10	1606	9.2	19	2.7	1.10	0.313
13	2506	36.1	49	11.4	2.03	0.249
15	607	29.0	51	7.9	1.19	0.209
16	1307	40.0	55	13.7	2.77	0.280
17	1607	16.3	38	2.7	0.72	0.370
18	2107	18.1	38	5.1	1.28	0.349
19	2307	15.0	25	4.1	1.06	0.359
21	2807	52.5	100	15.9	2.63	0.229
27	2208	18.4	50	3.2	0.59	0.259
29	2808	11.9	20	1.8	0.63	0.486

BASSIN S1 : Année 1980

N°	Date	P	TP	LR	Qmax	K(TP)
16	1507	55.0	140	13.0	1.63	0.174

- P = Pluie moyenne (mm)
 TP = Durée du corps d'averse (min)
 LR = Lamé ruisselée (mm)
 Qmax = Débit maximum (m³/s)
 $K(TP) = \frac{Q_{max}}{LR \cdot S} \quad (s^{-1} \cdot 10^{-3})$
 S = Surface du bassin (km²)

TABLEAU 13 : Bassin S1 - Fonction K(Tp)

Sur les figures 30, 31 et 32 sont représentées les fonctions $K(T_p)$ ainsi déterminées pour les trois bassins. Malgré une dispersion assez importante, on peut en effet tracer à l'estime une courbe moyenne qui sera celle utilisée pour l'estimation des distributions des débits maxima.

Nous avons également fait figurer sur les graphiques la courbe $1/T_p$ et admis que les courbes $K(T_p)$ et $1/T_p$ se croisaient au temps $T_p = T_c$ (1)

Nous trouvons ainsi pour:

- S1 $T_c = 75$ minutes
- S2 $T_c = 40$ minutes
- S3 $T_c = 60$ minutes

La connaissance de ce temps de concentration nous permet par ailleurs de calculer la vitesse moyenne de l'eau en dehors du réseau. En effet, le plus long chemin hydraulique est de :

- . pour le bassin S1
 - 2050 m dans le réseau
 - 700 m hors du réseau
- . pour le bassin S2
 - 1500 m dans le réseau
 - 650 m hors du réseau
- . pour le bassin S3
 - 1300 m dans le réseau
 - 900 m hors du réseau

Si on admet que l'eau dans le réseau coule à une vitesse proche de 2 m/s, la vitesse moyenne de l'eau en dehors du réseau serait de :

- . $V_1 = 20$ cm/s sur le bassin S1
- . $V_2 = 40$ cm/s sur le bassin S2
- . $V_3 = 30$ cm/s sur le bassin S3

Ces résultats ne sont pas très précis, puisque $V_3 > V_1$ alors que la pente du bassin S3 est plus faible que celle du bassin S1 et nous retiendrons une fourchette de l'ordre de 25 à 35 cm/s pour évaluer la vitesse de l'eau en dehors du réseau sur des bassins dont la pente est voisine de 0.1 %, fourchette qui pourra être utilisée :

- pour définir le temps de concentration)
- pour reconstituer de façon synthétique) d'un bassin T3 quelconque
- l'hydrogramme) de pente identique

3.2. Estimations des débits de pointe de crue

Nous avons donc utilisé la méthode décrite au début de ce chapitre :

- Les classes de durée ont été déterminées de 5 minutes en 5 minutes jusqu'à la valeur 300 minutes. Les corps d'averse de durée supérieure à 300 minutes ne surviennent que 4,9 fois tous les 100 ans. La somme totale des erreurs sur les fréquences que l'on commettra en ne considérant que les corps d'averse inférieures à 300 minutes sera donc de 4,9 fois tous les 100 ans. On admettra que l'estimation de la distribution des débits de pointe de crues que

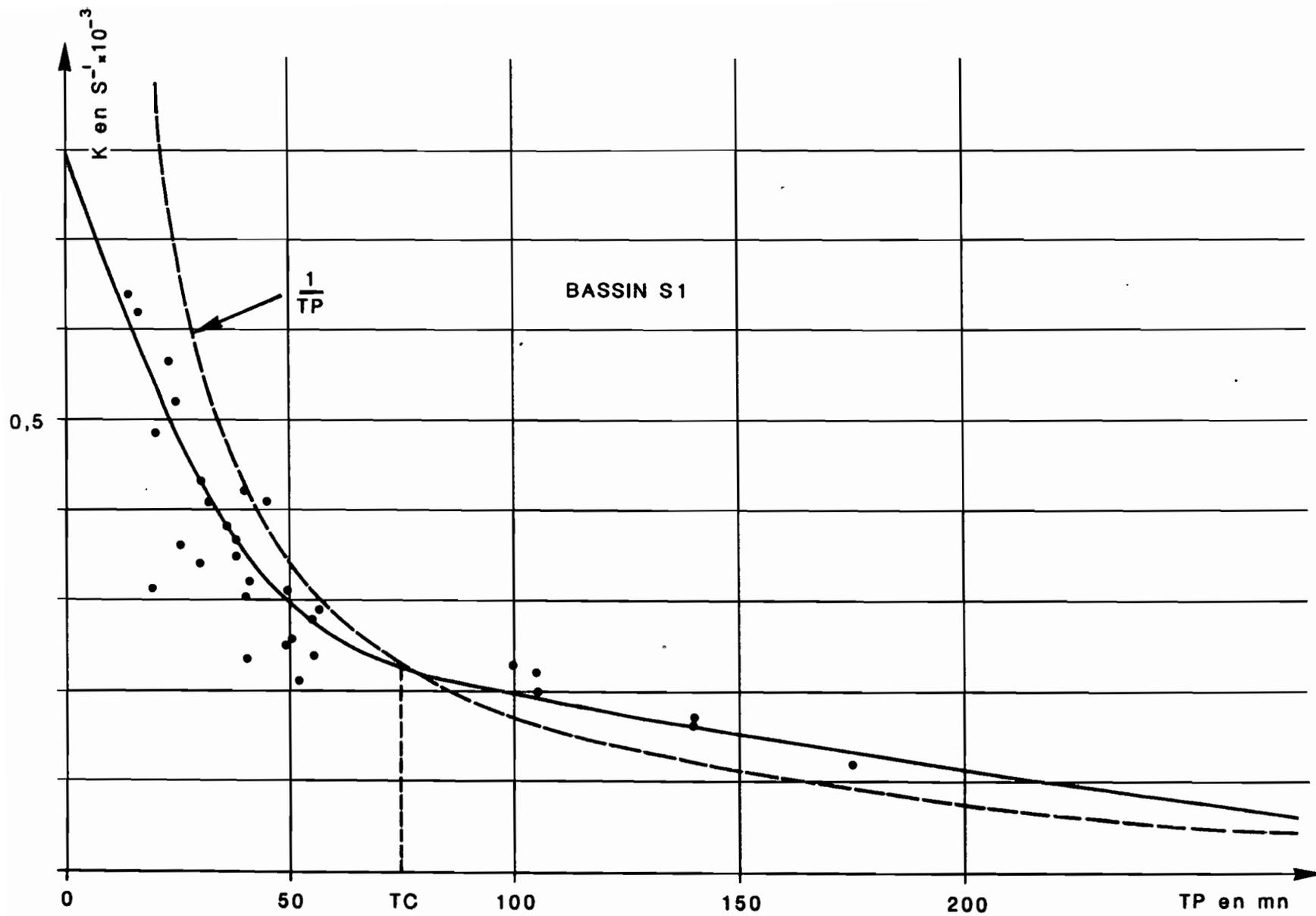


Fig. 30 : BassinS1. Fonction $K(Tp)$.

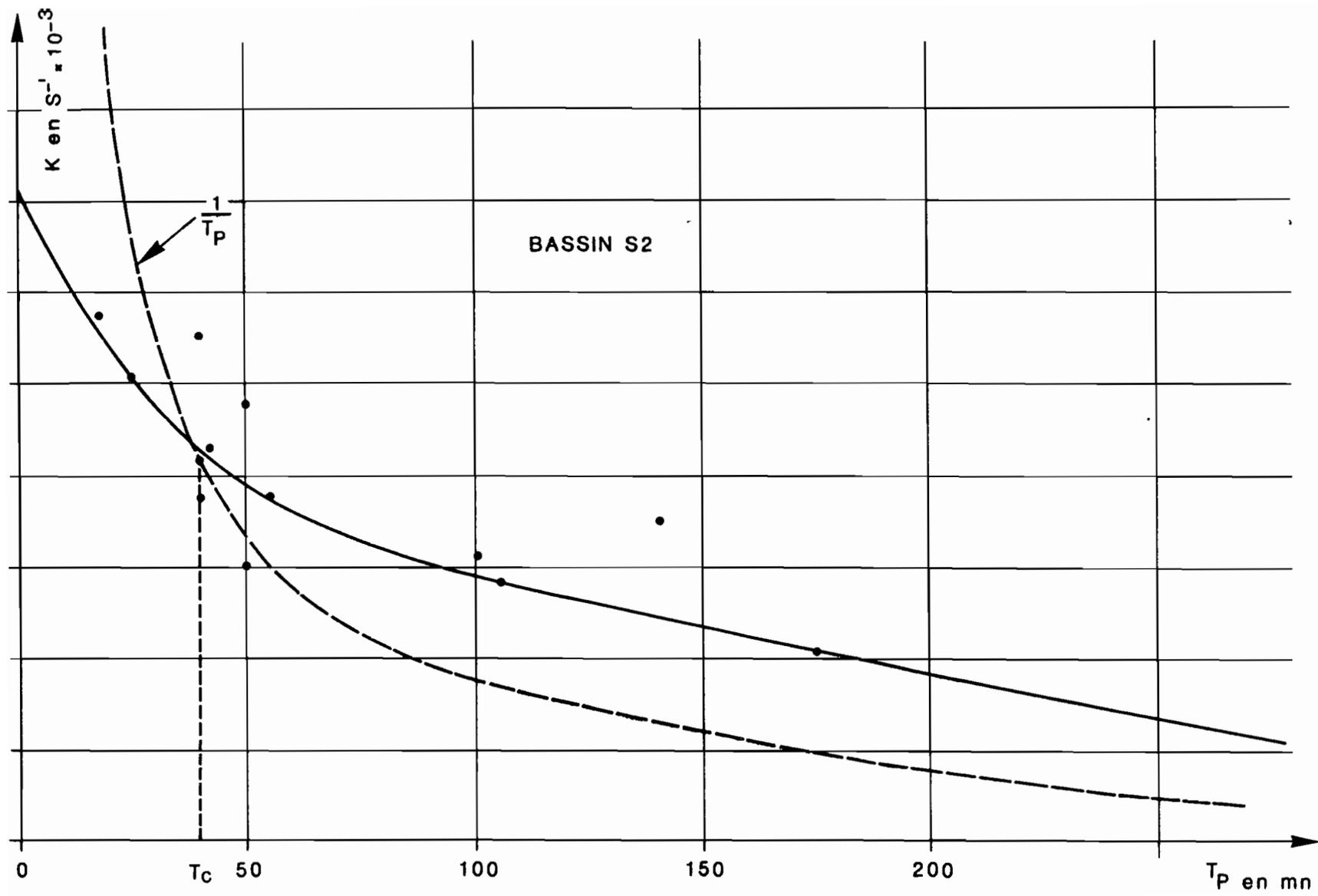


Fig. 31 : Bassin S2. Fonction $K(T_P)$.

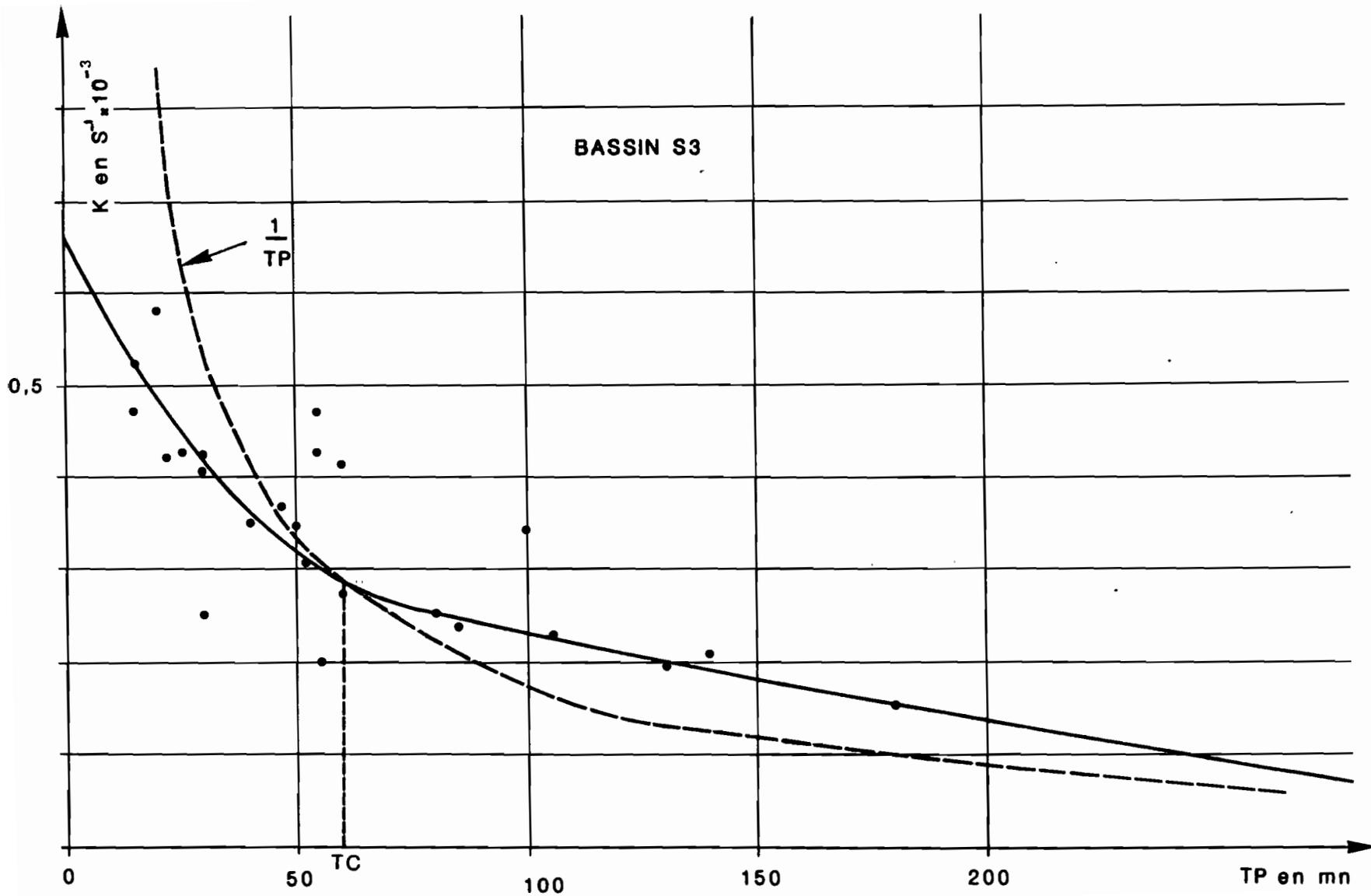


Fig. 32 : Bassin S3. Fonction $K(Tp)$.

l'on fera en ne considérant que les corps d'averses inférieurs à 300 minutes est satisfaisante.

- Pour chaque classe de durée nous avons admis :

a) que $K(T_p)$ était constante et égale à la valeur de K pour la durée centrale de la classe.

b) que la fonction $f_{T_p}(P)$ était celle donnée dans le paragraphe 2.3.2. en prenant $R_1 = 50.0$ mm pour chaque bassin.

Nous avons donc calculé pour chaque bassin la fréquence au dépassement des débits spécifiques suivants : 1250, 2500, 7500, 10 000, 12500, 15 000, 25 000 l/s/km².

A partir de ces points, nous avons pu tracer les estimations des débits de pointe de crue représentées sur la figure 33.

Nous en avons déduit les débits spécifiques de pointe de crue de fréquence décennale pour chaque bassin :

bassin S1 $Q_{S10} = 9400$ l/s/km²

bassin S2 $Q_{S10} = 17600$ l/s/km²

bassin S3 $Q_{S10} = 8800$ l/s/km²

ce qui nous donne pour les débits de pointe de crue de fréquence décennale :

bassin S1 $Q_{max10} = 6.8$ m³/s (Q_{max} observé = 2,97 m³/s le 22/08/78)

bassin S2 $Q_{max10} = 7.4$ m³/s (Q_{max} observé = 5,11 m³/s le 01/06/78)

bassin S3 $Q_{max10} = 6.4$ m³/s (Q_{max} observé = 4,15 m³/s le 22/08/78)

ces résultats sont tout à fait en accord dans leur ensemble avec les caractéristiques des bassins (coefficient d'imperméabilisation, pente, infiltration) et il ne faut pas s'étonner de l'écart enregistré entre Q_{max10} et Q_{max} observé pour le bassin S1, les mesures réalisées lors des crues du 01/06/78 et 22/08/78 étant sans doute sous-estimées.

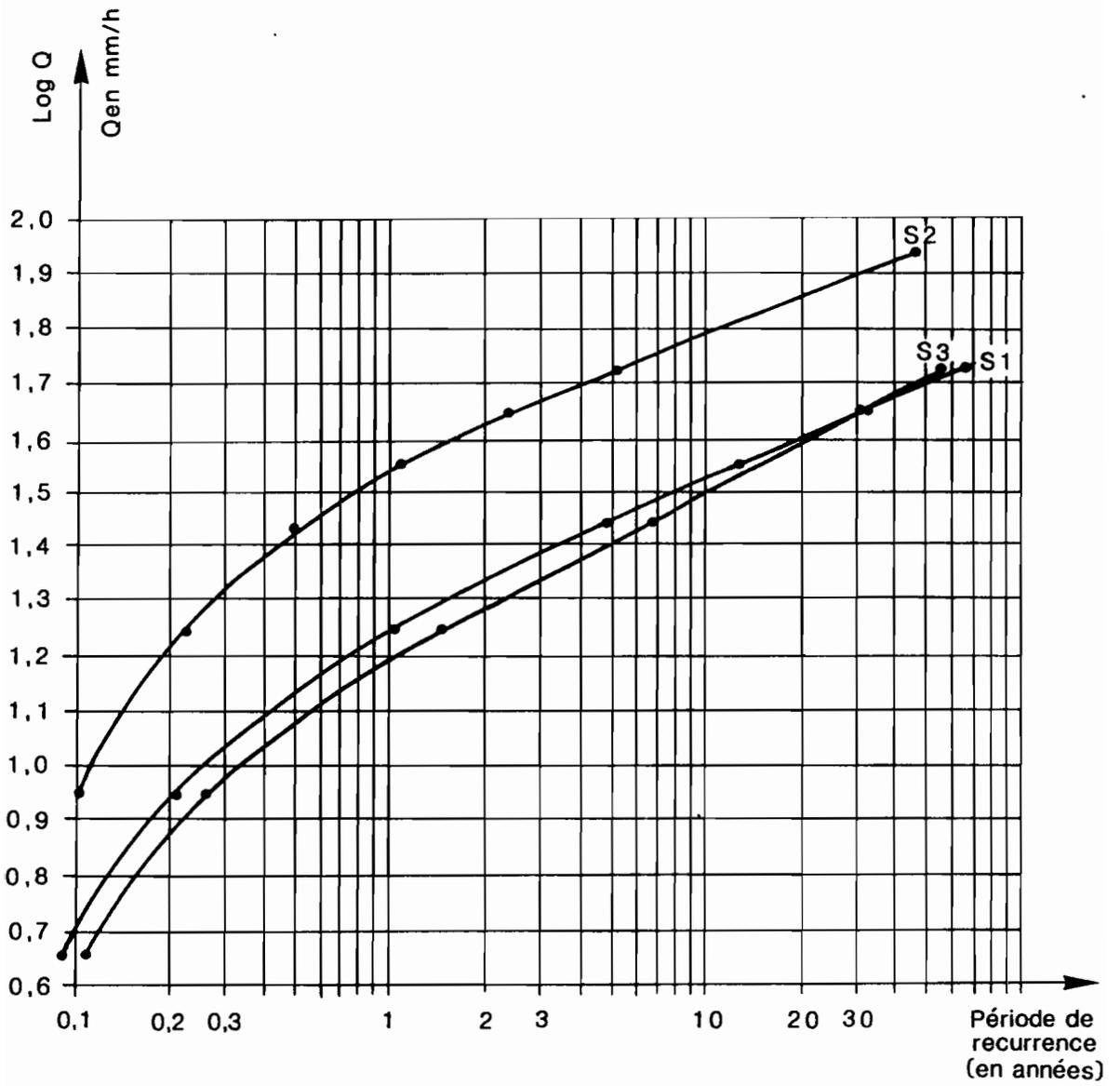
Remarquons que le débit spécifique décennal obtenu pour S2 n'est pas très éloigné de la valeur qui avait été calculée pour un bassin assez semblable ($S = 0,56$ km²) lors des campagnes du Gounti-Yena en 1964 et 1965.

bassin S2 $Q_{S10} = 17500$ l/s/km²

bassin n°1 du Gounti-Yena $Q_{S10} = 14700$ l/s/km²

Figure 33

Distribution estimée pour les débits spécifiques de points de crue



3.2.1. Comparaison des débits spécifiques d'une fréquence donnée et de l'intensité moyenne de même fréquence de la hauteur maximale de pluie tombée pendant le temps de concentration au cours d'une averse.

La formule rationnelle :

$$Q_{maxf} = KR' \cdot INF \cdot S$$

est couramment utilisée pour estimer la distribution des pointes de crues, avec

Q_{maxf} = débit maximum de fréquence f
 KR' = coefficient de ruissellement
 INF = intensité moyenne de fréquence f de la hauteur maximale de pluie tombée pendant un temps égal au temps de concentration du bassin.
 S = aire du bassin.

Il était donc intéressant de comparer la valeur Kr' intervenant dans cette relation à une estimation d'un coefficient de ruissellement Kr_{10} correspondant à la pluie dont l'intensité est constante et égale à l'intensité décennale pendant le temps de concentration du bassin.

Nous avons ainsi trouvé :

pour le bassin S1 $P = INF \times Tc = 69,8 \text{ mm}$
 $R = P - INF(Tc) = 69,8 - 26,5 = 43,3 \text{ mm}$
 $LR = CP + BR = 0,27 \times 69,8 + 0,2 \times 43,3 = 27,5 \text{ mm}$

$$KR_{10} = 39\%$$

pour le bassin S2 $P = INF \times Tc = 59,2 \text{ mm}$
 $R = P - INF(Tc) = 59,2 - 13,8 = 45,4 \text{ mm}$
 $LR = CP + BR = 0,31 \times 59,2 + 0,42 \times 45,4 = 37,4 \text{ mm}$

$$KR_{10} = 63\%$$

pour le bassin S3 $P = INF \times Tc = 67,6 \text{ mm}$
 $R = P - INF(Tc) = 67,6 - 21,6 = 46,0 \text{ mm}$
 $LR = CP + BR = 0,21 \times 67,6 + 0,2 \times 46 = 23,4 \text{ mm}$

$$KR_{10} = 35\%$$

Les valeurs de Kr' ont pu être calculées en utilisant les distributions des intensités de pluie déterminées au chapitre 1, et figurent dans le tableau 16.

Kr'_{10} est toujours supérieur à Kr_{10} , dans des proportions respectives de 55 %, 13 % et 33 % pour les bassins S1, S2 et S3. Ceci montre d'une part qu'on ne peut pas attribuer à Kr' la valeur d'un coefficient de ruissellement, et que d'autre part, la méthode rationnelle risque de fournir des estimations d'autant plus faibles que le temps de concentration du bassin est élevé.

Tableau 16

Comparaison entre le débit spécifique d'une fréquence donnée et l'intensité des pluies de durée Tc (temps de concentration du bassin) de même fréquence.

R	Bassin S1 : Tc=75 mn			Bassin S2 : Tc=40 mn			Bassin S3 : Tc=60 mn		
	INf	Q	KR'	INf	Q	KR'	INf	Q	KR'
0,5	27,0	13,5	50,0	44,4	27,2	61,3	32,8	12,3	37,5
1	33,8	17,8	52,7	54,9	35,1	63,9	41,0	15,8	38,5
2	40,4	21,6	53,5	62,3	42,7	68,5	49,0	19,7	40,2
5	49,2	27,5	55,9	78,8	53,7	68,1	59,7	25,1	42,0
10	55,9	33,9	60,6	88,8	63,1	71,1	67,6	31,6	46,7
20	62,5	40,7	65,1	99,0	71,6	72,3	75,7	38,9	51,4
50	71,2	50,1	70,4	112,0	88,1	78,7	86,2	51,3	59,5

R = période de récurrence

INf = intensité moyenne de fréquence de la hauteur maximale de pluie tombée en Tc minutes au cours d'une averse.

Q = débit spécifique en mm/h

$$KR' = \frac{Q}{INf} \text{ en } \%$$

3.2.2. Comparaison entre le débit de pointe de crues de fréquence décennale et le débit maximum de la crue causée par l'averse de hauteur journalière décennale.

Le tableau suivant donne, pour les récurrences 1, 2, 5, 10, 20, 50 ans, les valeurs des pluies journalières calculées à partir de 3 échantillons avec la loi gamma-incomplète:

- (1) Niamey Ville 72 ans : 1905-1910, 1912-1913, 1919, 1921-1983
- (2) Niamey Aero 36 ans : 1944-1979
- (3) Niamey Aero 25 ans : 1952-1961, 1963-1967, 1969-1978

R an(s)	P(1) mm	P(2) mm	P(3) mm
1	55,1	54,8	55,3
2	66,3	65,9	66,5
5	81,2	80,6	81,4
10	92,5	91,8	92,8
20	103,9	103,1	104,2
50	119,0	118,1	119,4

Vu qu'il est souvent admis que le débit de pointe de crue décennale est égal au débit maximum de la crue causée par une pluie de hauteur journalière décennale, il est intéressant de comparer le débit de pointe de crue décennal que nous avons obtenu à celui qui serait causé par une telle pluie.

Nous l'avons fait, en admettant que :

a) le corps de l'averse de hauteur journalière décennale (=92,8 mm) avait pour hauteur 78,8 mm (voir tableau 10)

b) que la durée du corps d'averse décennal était de 95 minutes, valeur déterminée à partir de la relation donnée au 1.2.4.

c) que le rapport $\frac{Q_{max}}{LR.S}$ était de :

- 0,210.10⁻³ pour le bassin S1
- 0,302.10⁻³ pour le bassin S2
- 0,240.10⁻³ pour le bassin S3

valeurs déterminées à partir des fonctions K(Tp) données au 3.1., en prenant Tp = 95 minutes. La lame ruisselée étant calculée à partir des formules du 2.3.1. en prenant les mêmes valeurs pour les paramètres que celles du 3.2.

Les résultats obtenus sont les suivants :

	Bassin S1	Bassin S2	Bassin S3
Qa	33,9	63,1	31,6
Qb	28,2	61,8	27,9

avec Qa débit spécifique (en mm/h) de pointe de crue de fréquence décennale

Qb débit spécifique (en mm/h) de pointe d'une crue causée par un corps d'averse de hauteur journalière décennale.

Encore une fois, la précision des résultats semble diminuer en fonction du temps de concentration du bassin. Cette démarche, qui consiste à définir comme entrée du modèle pluie-débit une pluie de projet à partir de la pluviométrie journalière, peut néanmoins s'avérer intéressante pour les régions où l'information pluviographique fait défaut.

BIBLIOGRAPHIE

- <1> LE BARBE (L.)-1982- "Etude du ruissellement urbain à Ouagadougou. Essai d'interprétation théorique. Recherche d'une méthode d'évaluation de la distribution des pointes de crues à l'exutoire des bassins urbains." Cahier ORSTOM, série Hydrologie. Vol. XIX, n°3.
- <2> LE MOINE (L.) et MICHEL (C.)-"Essai d'adaptation à l'Afrique tropicale des méthodes classiques du calcul du débit des ouvrages d'assainissement."
Publication CIEH.
- <3> DESBORDES (M.)-1974-"Réflexions sur les méthodes de calcul des réseaux d'assainissement pluvial."
Thèse docteur-ingénieur. Université des sciences et techniques du Languedoc.
- <4> HERBAUD (J.)-1966-"Etude du ruissellement en zone urbaine à Niamey. Les bassins versants du Gounti-Yena."
Publication ORSTOM.
- <5> BRUNET-MORET (Y.)-1963-"Etude des averses exceptionnelles en Afrique occidentale. République du Niger."
Publication ORSTOM.
- <6> LAFFORGUE (A.)-1977-"Inventaire et examen des processus élémentaires de ruissellement et d'infiltration sur parcelle. Applications à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées."
Cahier ORSTOM, série Hydrologie. Vol. XIV, n°4.
- <7> CASENAVE (A.), CHEVALLIER (P.), GUIGEN (N.) et SIMON (J. M.)-1982-"Simulation de pluie sur bassin représentatif."
Cahier ORSTOM, série Hydrologie. Vol. XIX, n°4.
- <8> VALENTIN (C.)-1981-"Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de région subdésertique (Agadez-République du Niger). Dynamique de formation et conséquences sur l'économie en eau."
Thèse doctorat 3^e cycle- Université Paris 7.
- <9> HEMAIN (J. C.)-1983-"Guide de construction et d'utilisation des pluies de projet."
Publication Laboratoire d'Hydrologie Mathématique-USTL Montpellier.
- <10> BRUNET-MORET (Y.)-1974-"Distribution exponentielle généralisée."
Cahier ORSTOM, série Hydrologie. Vol. XI, n°4.
- <11> BRUNET-MORET (Y.)-1975-"Distribution Gausso-logarithmique."
Cahier ORSTOM, série Hydrologie. Vol. XII, n°2.

ANNEXE 2 : Calcul des lames ruisselées sur les bassins S1, S2 et S3

- P** = pluie moyenne sur le bassin (mm)
- Pc** = hauteur du corps d'averse (mm)
- Tp** = durée du corps d'averse (mn)
- Ta** = temps séparant l'averse de la précédente (h)
- S'** = lame stockée au début de l'averse (mm)
- INF** = lame infiltrée calculée à partir de LRob. et des paramètres N , B et R_0 (mm)
- S** = lame stockée à la fin de la crue (mm)
- LRcal** = lame ruisselée calculée à partir de P , Pc , Ta , S' , des paramètres N , B et R_0 et de la fonction $INF(Tp)$ (mm)
- Diff** = $LRcal - LRob$

ANNEXE 1 : Equations du modèle en tenant compte du stockage superficiel sur les zones C3

Hypothèse : les fonctions de stockage sont identiques sur C3 et 1-C-C3

$$\begin{aligned} \text{sur C3} \quad \text{STO}(R) &= \alpha \cdot (R + (C2/C3) \cdot P) & \text{si } R + (C2/C3) \cdot P \leq R_1 \\ &= \alpha \cdot R_1 & \text{si } R + (C2/C3) \cdot P > R_1 \end{aligned}$$

$$R_1 - (C2/C3) \cdot P \geq 0$$

$$R_1 - (C2/C3) \cdot P \leq 0$$

$R \leq \frac{C2}{C3} \cdot P$	$LR = C1 \cdot P$	$LR = C1 \cdot P$
$\frac{C2}{C3} \cdot P < R \leq 0$	$LR = C \cdot P + C3(1-\alpha)R - C2 \cdot \alpha \cdot P$	
$\frac{C2}{C3} \cdot P < R \leq R_1$	$\frac{C2}{C3} \cdot P$	$LR = C \cdot P + C3(1-\alpha)R - C2 \cdot \alpha \cdot R$
$0 < R \leq R_1$	$\frac{C2}{C3} \cdot P$	$LR = C \cdot P + (1-\alpha)(1-C)R - C2 \cdot \alpha \cdot P$
$R_1 < R \leq 0$	$\frac{C2}{C3}$	$LR = C \cdot P + C3 \cdot R - \alpha \cdot R_1 \cdot C3$
$R_1 < R \leq R_1$	$\frac{C2}{C3} \cdot P < R \leq R_1$	$LR = C \cdot P + (1-C - (1-C-C3)\alpha)R - \alpha \cdot C3 \cdot R_1$
$0 < R \leq R_1$		$LR = C \cdot P + (1-C - (1-C-C3)\alpha)R - \alpha \cdot C3 \cdot R_1$
$R_1 < R$	$LR = C \cdot P + (1-C)R - (1-C)R_1 \cdot \alpha$	$LR = C \cdot P + (1-C)R - (1-C)R_1 \cdot \alpha$

TABLEAU N° 17

Bassin S1 : Année 1978

C= .27 W= .8 B= .2 RO= 20

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 25.5 *(1-exp(- .028 *Tp)) DS(ta)=exp(- .021 ta)

C1= .07 C2= .2 C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
3	106	67.5	55.3	16.9	105	126	0.0	52.4	10.6	33.3	16.4
6	806	54.4	51.6	21.3	177	53	0.4	20.8	10.4	18.4	-2.9
7	2006	23.5	21.4	8.2	50	276	0.0	13.8	0.6	6.6	-1.6
8	2606	20.6	19.1	5.2	32	143	0.0	22.1	1.9	6.3	1.1
11	807	10.0	9.4	2.6	14	54	0.0	10.4	0.5	2.9	0.3
12	1107	18.5	17.0	4.4	45	60	0.1	21.2	0.1	4.5	0.1
16	2907	25.3	23.2	7.0	40	11	0.0	24.0	2.9	7.9	0.9
18	208	20.6	18.8	8.8	30	29	0.4	4.0	2.5	6.4	-2.4
21	408	13.1	12.8	3.7	16	32	1.0	12.2	2.6	4.1	0.4
22	1108	30.0	25.2	11.4	41	159	0.1	12.5	5.1	10.0	-1.4
23	1708	13.6	10.6	4.2	23	152	0.2	10.4	0.2	3.6	-0.6
24	2208	58.6	57.5	17.5	40	100	0.0	41.6	10.6	33.7	16.2
25	2808	30.0	27.2	10.3	57	148	0.5	18.4	3.6	9.3	-1.0
26	3008	20.9	17.8	6.0	36	54	1.2	18.5	2.3	6.1	0.1
28	909	28.7	22.8	8.9	55	48	0.0	21.8	2.4	8.6	-0.3
29	1409	10.9	9.7	1.2	105	120	0.2	21.8	0.2	0.8	-0.4
31	1909	6.1	6.1	0.8	13	44	0.0	10.3	0.0	1.2	0.4
34	2509	14.2	12.5	3.2	25	103	0.0	17.0	0.0	3.8	0.6
35	210	29.5	28.3	10.1	104	140	0.0	18.6	0.0	7.9	-2.2

Bassin S1 : Annee 1979

C= .27 W= .8 B= .2 RO= 20
 INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 25.5 *(1-exp(- .028 *Tp)) DS(ta) = exp(- .021 ta)
 C1= .07 C2= .2 C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
1	105	10.8	8.8	0.8	30		0.0	21.0	0.0	1.8	1.0
2	1405	6.3	5.3	0.6	18	341	0.0	11.6	0.0	0.7	0.1
3	2305	6.0	5.6	0.3	13	217	0.0	12.5	0.0	1.1	0.8
5	3105	44.4	37.6	16.2	140	141	0.0	22.0	5.5	14.1	-2.1
8	1206	15.5	14.1	5.3	28	206	0.0	9.6	0.0	4.1	-1.2
9	1306	15.8	12.3	5.5	30	27	0.0	8.9	0.0	4.1	-1.4
10	1606	9.2	8.4	2.7	19	68	0.0	8.0	0.0	2.0	-0.7
13	2506	36.1	27.2	11.4	49	54	0.0	26.1	6.7	12.3	0.9
14	3006	3.8	2.7	0.2	7	109	0.7	7.7	0.7	0.8	0.6
15	607	29.0	21.8	7.9	51	143	0.0	27.2	2.9	8.9	1.0
16	1307	40.0	40.0	13.7	55	144	0.1	25.5	9.1	14.2	0.5
17	1607	16.3	13.0	2.7	38	80	1.7	24.1	1.7	3.8	1.1
18	2107	18.1	17.2	5.1	38	104	0.2	16.9	0.2	4.7	-0.4
19	2307	15.0	14.1	4.1	25	46	0.1	14.6	0.4	4.2	0.1
21	2807	52.5	42.0	15.9	100	101	0.0	33.6	10.6	18.9	3.0
27	2208	18.4	17.3	3.2	50	24	0.0	27.0	0.0	4.2	1.0
29	2808	11.9	6.0	1.8	20	83	0.0	17.8	0.0	3.0	1.2

Bassin S1 : Annee 1980

C= .27 W= .8 B= .2 R0= 20

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 25.5 *(1-exp(- .028 *Tp)) DS(ta) =exp(- .021 ta)

C1= .07 C2= .2 C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
7	1306	6.0	4.4	1.2	15	40	0.0	7.8	0.0	0.8	-0.4
8	2506	6.3	6.2	1.2	22	289	0.0	7.8	0.0	0.4	-0.8
10	3006	15.2	14.6	3.3	21	51	0.0	19.1	1.4	4.6	1.3
11	207	28.8	21.3	5.8	80	51	0.5	37.2	0.5	7.8	2.0
13	707	13.1	10.7	1.8	30	17	0.1	21.3	0.1	2.8	1.0
15	1307	11.2	7.8	2.1	57	91	0.0	21.3	0.0	0.8	-1.3
16	1507	55.0	51.7	13.0	140	38	0.0	42.4	10.6	20.1	7.1
17	1707	9.4	8.7	1.9	15	51	3.6	12.4	3.6	2.5	0.6
20	2607	15.2	11.2	2.1	15	66	0.0	24.4	2.6	5.1	3.0
23	108	9.1	8.7	2.5	85	3	0.5	24.4	0.5	0.6	-1.9
25	508	6.5	3.0	1.3	11	29	0.1	8.1	0.1	1.4	0.1

Bassin S2 : Annee 1978

C= .31 W= .8 B= .42 R0= 10
 INF(Tp) = 6.7 *Tp: 60+ 13.4 *(1-exp(- .03 *Tp)) DS(ta)=exp(- .021 ta)
 C1= .1 C2= .21 C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
3	106	77.9	60.0	42.5	105	126	0.1	43.9	2.7	55.9	13.4
6	806	50.5	48.0	28.8	175	53	0.1	27.2	2.7	24.9	-3.9
7	2006	19.8	18.6	8.3	50	276	0.0	14.4	1.0	7.6	-0.7
8	2606	18.1	16.3	7.6	30	143	0.0	13.0	1.8	8.3	0.7
11	807	9.8	8.7	2.3	10	54	0.0	11.3	1.4	5.1	2.8
16	2907	23.7	20.5	14.4	45	11	0.0	6.3	2.2	10.8	-3.6
18	208	21.0	19.0	11.5	35	29	0.3	8.7	2.4	9.9	-1.6
21	408	9.8	9.1	4.3	15	32	1.0	6.7	1.8	4.4	0.1
22	1108	34.2	28.0	18.7	42	159	0.1	17.4	2.7	20.8	2.1
23	1708	16.7	13.5	6.0	22	152	0.1	14.1	2.0	8.2	2.2
24	2208	60.6	54.5	29.9	40	100	0.2	39.7	2.7	47.8	17.9
25	2808	33.5	28.8	19.0	60	148	0.1	16.3	2.7	17.9	-1.1
26	3008	19.2	15.9	7.5	37	54	0.9	14.9	2.3	8.2	0.7
28	909	30.3	24.5	16.0	55	48	0.0	15.7	2.7	15.1	-0.9
29	1409	10.1	8.9	1.3	105	120	0.2	15.7	0.2	1.0	-0.3
34	2509	9.2	8.1	3.4	20	103	0.0	7.7	0.2	3.1	-0.3
35	210	29.1	21.2	15.6	105	140	0.0	11.9	0.8	10.3	-5.3

Bassin S2 : Annee 1979

C= .31

W= .8

B= .42

RO= 10

INF(Tp) = 6.7 *Tp: 60+ 13.4 *(1-exp(-.03 *Tp))

DS(ta) = exp(-.021 ta)

C1= .1

C2= .21

C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
2	1405	4.6	4.1	1.4	22	341	0.0	4.6	0.0	0.5	-0.9
3	2305	7.0	6.0	2.1	12	217	0.0	7.0	0.4	2.8	0.7
5	3105	43.9	36.9	19.6	140	141	0.0	29.9	2.7	20.3	0.7
8	1206	14.3	13.0	6.5	30	206	0.0	9.1	0.7	5.6	-0.9
9	1306	15.9	12.2	7.3	30	27	0.4	9.5	1.5	6.5	-0.8
10	1606	10.3	9.4	4.6	18	68	0.4	6.8	1.0	4.3	-0.3
13	2506	30.5	23.2	16.0	50	54	0.0	15.7	2.7	15.8	-0.2
14	3006	4.7	3.2	1.0	5	109	0.3	5.5	0.8	2.3	1.3
15	607	26.2	19.9	13.5	50	143	0.0	12.1	2.5	11.9	-1.6
16	1307	44.1	44.1	24.5	55	144	0.1	24.7	2.7	29.8	5.3
17	1607	19.9	16.1	9.2	40	80	0.5	11.9	1.9	8.4	-0.8
18	2107	15.3	14.5	6.6	40	104	0.2	10.7	0.6	5.3	-1.3
19	2307	14.3	13.5	8.0	25	46	0.2	5.6	1.4	6.2	-1.8
21	2807	51.8	39.9	31.0	100	101	0.1	24.0	2.7	31.1	0.1
29	2808	10.5	5.3	4.3	20	83	0.0	7.0	0.3	3.8	-0.5

TABLEAU N° 22

Bassin S3 : Annee 1978

C= .21

W= .8

B= .2

RO= 10

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 22.5 *(1-exp(-.028 *Tp)) DS(ta)=exp(-.021 ta)

C1= .07

C2= .14

C3= .1

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
2	2605	11.0	9.5	1.5	20	112	0.0	18.8	0.0	2.3	0.8
3	106	64.4	51.9	20.0	105	126	0.0	46.2	5.9	35.1	15.1
6	806	43.4	42.5	18.0	180	54	0.2	24.8	5.9	12.1	-5.9
7	2006	22.6	20.9	8.5	50	276	0.0	3.5	1.5	5.3	-3.2
24	2208	56.0	53.9	16.2	40	100	0.0	42.5	5.9	36.1	19.9
25	2808	31.3	29.5	10.1	47	148	0.3	19.3	5.9	10.3	0.2
26	3008	17.8	15.0	5.7	30	54	1.9	7.4	3.6	4.3	-1.4
28	909	30.0	24.2	8.6	60	48	0.0	17.3	4.3	7.7	-0.9
31	1909	4.5	4.3	0.7	12	44	0.4	6.9	0.4	0.7	-0.0
32	2009	6.2	5.7	1.3	7	35	0.2	6.1	1.2	1.6	0.3
34	2510	7.3	6.9	0.4	17	103	0.1	18.5	0.1	1.3	0.9
35	210	28.0	23.7	6.9	80	140	0.0	22.0	1.6	6.4	-0.5

Bassin S3 : Annee 1979

C= .21

W= .8

B= .2

R0= 10

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 22.5 *(1-exp(- .028 *Tp)) DS(ta) = exp(- .021 ta)

C1= .07

C2= .14

C3= .1

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
1	105	8.7	6.4	1.7	35	999	0.0	9.5	0.0	1.1	-0.6
2	1405	6.5	6.3	1.2	20	341	0.0	8.1	0.0	0.9	-0.3
3	2305	4.5	4.4	0.3	15	217	0.0	10.9	0.0	0.5	0.2
5	3105	41.0	33.6	10.1	130	141	0.0	30.2	5.9	11.0	0.9
8	1206	10.3	9.2	2.5	20	206	0.0	6.7	0.0	2.1	-0.4
9	1306	14.4	11.6	5.0	25	27	0.0	4.0	0.7	3.3	-1.7
10	1606	9.3	8.4	2.7	15	68	0.2	5.4	0.5	2.1	-0.6
13	2506	28.6	19.8	5.8	45	54	0.0	27.9	4.9	7.7	1.9
16	1307	37.9	37.1	10.7	55	144	0.1	26.9	5.9	15.6	4.9
18	2107	12.4	11.3	3.2	25	104	0.3	6.2	0.3	2.6	-0.6
19	2307	15.4	13.6	3.4	20	46	0.1	14.2	2.6	4.1	0.7
21	2807	45.4	35.6	12.5	100	101	0.2	32.5	5.9	17.1	4.6
27	2208	17.0	15.0	4.9	52	24	0.0	3.3	0.0	3.2	-1.7
29	2808	10.3	5.2	1.7	18	83	0.0	13.9	0.0	2.1	0.4
30	2908	28.4	27.2	6.8	55	20	0.0	24.0	4.4	7.5	0.7

TABLEAU N° 24

Bassin S3 : Annee 1980

C= .21

W= .8

B= .2

RO= 10

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 22.5 *(1-exp(-.028 *Tp)) DS(ta) = exp(-.021 ta)

C1= .07

C2= .14

C3= .1

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
7	1306	5.2	3.8	2.0	13	40	0.0	-4.2	0.0	0.8	-1.2
8	2506	5.1	4.7	1.0	20	289	0.0	5.7	0.0	0.5	-0.5
10	3006	15.0	13.5	5.2	25	51	0.0	4.5	1.2	3.5	-1.7
13	707	10.1	8.5	3.0	30	17	0.2	1.0	0.2	1.7	-1.3
16	1507	56.7	51.5	13.9	140	38	0.0	45.7	5.9	26.5	12.6
17	1707	10.1	9.6	3.0	15	51	2.0	5.6	2.9	2.4	-0.6
18	2007	6.4	3.2	1.0	10	69	0.7	9.2	0.7	1.3	0.3
20	2607	10.9	7.8	2.0	15	66	0.0	11.7	1.1	2.6	0.6
23	108	9.0	8.5	2.2	85	3	0.2	11.7	0.2	0.6	-1.6
24	408	6.8	3.4	1.9	10	62	0.1	3.8	0.1	1.4	-0.5
25	508	4.5	2.4	1.5	15	29	0.1	-1.5	0.1	0.5	-1.0
26	608	17.9	13.9	7.6	20	25	0.0	-2.1	3.8	5.0	-2.6
30	1908	19.1	12.0	4.9	25	42	0.0	13.2	2.9	5.0	0.1
31	2208	4.4	3.4	0.8	5	64	0.8	4.8	1.3	1.1	0.3
31	2208	4.9	4.4	1.6	13	0	1.3	-0.9	1.3	0.8	-0.8
33	3008	9.5	8.6	3.6	55	16	0.0	-6.7	0.0	0.9	-2.7
34	109	8.9	7.8	1.5	15	36	0.0	10.5	0.1	1.9	0.4
36	409	25.1	23.2	7.2	60	22	3.7	15.1	5.6	5.9	-1.3
37	609	9.6	8.5	2.4	12	64	1.4	7.5	2.8	2.5	0.1
38	909	15.1	14.4	3.6	22	62	0.8	12.8	2.8	3.9	0.3
40	1809	17.8	16.5	4.0	30	138	0.0	16.2	1.9	4.4	0.4
41	2109	11.5	8.8	0.4	33	75	0.4	31.1	0.4	2.0	1.6

Bassin S1 : Annee 1978

C= .27

W= .8

B= .2

RO= 50

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 25.5 *(1-exp(- .028 *Tp)) DS(ta) =exp(- .021 ta)

C1= .07

C2= .2

C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
3	106	67.5	55.3	16.9	105	126	0.0	71.7	18.6	25.3	8.4
6	806	54.4	51.6	21.3	177	53	0.8	20.8	10.7	18.4	-2.9
7	2006	23.5	21.4	8.2	50	276	0.0	13.8	0.6	6.6	-1.6
8	2606	20.6	19.1	5.2	32	143	0.0	22.1	1.9	6.3	1.1
11	807	10.0	9.4	2.6	14	54	0.0	10.4	0.5	2.9	0.3
12	1107	18.5	17.0	4.4	45	60	0.1	21.2	0.1	4.5	0.1
16	2907	25.3	23.2	7.0	40	11	0.0	24.0	2.9	7.9	0.9
18	208	20.6	18.8	8.8	30	29	0.4	4.0	2.5	6.4	-2.4
21	408	13.1	12.8	3.7	16	32	1.0	12.2	2.6	4.1	0.4
22	1108	30.0	25.2	11.4	41	159	0.1	12.5	5.1	10.0	-1.4
23	1708	13.6	10.6	4.2	23	152	0.2	10.4	0.2	3.6	-0.6
24	2208	58.6	57.5	17.5	40	100	0.0	50.0	20.7	23.6	6.1
25	2808	30.0	27.2	10.3	57	148	0.9	18.4	4.1	9.3	-1.0
26	3008	20.9	17.8	6.0	36	54	1.3	18.5	2.4	6.1	0.1
28	909	28.7	22.8	8.9	55	48	0.0	21.8	2.4	8.6	-0.3
29	1409	10.9	9.7	1.2	105	120	0.2	21.8	0.2	0.8	-0.4
31	1909	6.1	6.1	0.8	13	44	0.0	10.3	0.0	1.2	0.4
34	2509	14.2	12.5	3.2	25	103	0.0	17.0	0.0	3.8	0.6
35	210	29.5	28.3	10.1	104	140	0.0	18.6	0.0	7.9	-2.2

Bassin S1 : Annee 1979

C= .27

W= .8

B= .2

RO= 50

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 25.5 *(1-exp(- .028 *Tp))

DS(ta) = exp(- .021 ta)

C1= .07

C2= .2

C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
1	105	10.8	8.8	0.8	30		0.0	21.0	0.0	1.8	1.0
2	1405	6.3	5.3	0.6	18	341	0.0	11.6	0.0	0.7	0.1
3	2305	6.0	5.6	0.3	13	217	0.0	12.5	0.0	1.1	0.8
5	3105	44.4	37.6	16.2	140	141	0.0	22.0	5.5	14.1	-2.1
8	1206	15.5	14.1	5.3	28	206	0.0	9.6	0.0	4.1	-1.2
9	1306	15.8	12.3	5.5	30	27	0.0	8.9	0.0	4.1	-1.4
10	1606	9.2	8.4	2.7	19	68	0.0	8.0	0.0	2.0	-0.7
13	2506	36.1	27.2	11.4	49	54	0.0	26.1	6.7	12.3	0.9
14	3006	3.8	2.7	0.2	7	109	0.7	7.7	0.7	0.8	0.6
15	607	29.0	21.8	7.9	51	143	0.0	27.2	2.9	8.9	1.0
16	1307	40.0	40.0	13.7	55	144	0.1	25.5	9.1	14.2	0.5
17	1607	16.3	13.0	2.7	38	80	1.7	24.1	1.7	3.8	1.1
18	2107	18.1	17.2	5.1	38	104	0.2	16.9	0.2	4.7	-0.4
19	2307	15.0	14.1	4.1	25	46	0.1	14.6	0.4	4.2	0.1
21	2807	52.5	42.0	15.9	100	101	0.0	41.8	11.1	18.4	2.5
27	2208	18.4	17.3	3.2	50	24	0.0	27.0	0.0	4.2	1.0
29	2808	11.9	6.0	1.8	20	83	0.0	17.8	0.0	3.0	1.2

Bassin S1 : Annee 1980

C= .27 W= .8 B= .2 R0= 50

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 25.5 *(1-exp(- .028 *Tp)) DS(ta) = exp(- .021 ta)

C1= .07 C2= .2 C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
7	1306	6.0	4.4	1.2	15	40	0.0	7.8	0.0	0.8	-0.4
8	2506	6.3	6.2	1.2	22	289	0.0	7.8	0.0	0.4	-0.8
10	3006	15.2	14.6	3.3	21	51	0.0	19.1	1.4	4.6	1.3
11	207	28.8	21.3	5.8	80	51	0.5	37.2	0.5	7.8	2.0
13	707	13.1	10.7	1.8	30	17	0.1	21.3	0.1	2.8	1.0
15	1307	11.2	7.8	2.1	57	91	0.0	21.3	0.0	0.8	-1.3
16	1507	55.0	51.7	13.0	140	38	0.0	63.6	11.5	19.2	6.2
17	1707	9.4	8.7	1.9	15	51	3.9	12.4	3.9	2.5	0.6
20	2607	15.2	11.2	2.1	15	66	0.0	24.4	2.6	5.1	3.0
23	108	9.1	8.7	2.5	85	3	0.5	24.4	0.5	0.6	-1.9
25	508	6.5	3.0	1.3	11	29	0.1	8.1	0.1	1.4	0.1

Bassin S2 : Annee 1978

C= .31 W= .8 B= .42 R0= 50
 INF(Tp) = 6.7 *Tp: 60+ 13.4 *(1-exp(-.03 *Tp)) DS(ta)=exp(-.021 ta)
 C1= .1 C2= .21 C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
3	106	77.9	60.0	42.5	105	126	0.1	28.3	13.5	45.1	2.6
6	806	50.5	48.0	28.8	175	53	0.6	18.7	5.2	22.8	-6.0
7	2006	19.8	18.6	8.3	50	276	0.0	14.4	1.0	7.6	-0.7
8	2606	18.1	16.3	7.6	30	143	0.0	13.0	1.8	8.3	0.7
11	807	9.8	8.7	2.3	10	54	0.0	11.3	1.4	5.1	2.8
16	2907	23.7	20.5	14.4	45	11	0.0	6.3	2.2	10.8	-3.6
18	208	21.0	19.0	11.5	35	29	0.3	8.7	2.4	9.9	-1.6
21	408	9.8	9.1	4.3	15	32	1.0	6.7	1.8	4.4	0.1
22	1108	34.2	28.0	18.7	42	159	0.1	13.7	5.1	18.4	-0.3
23	1708	16.7	13.5	6.0	22	152	0.2	14.1	2.1	8.2	2.2
24	2208	60.6	54.5	29.9	40	100	0.3	32.9	12.6	37.9	8.0
25	2808	33.5	28.8	19.0	60	148	0.6	12.0	4.5	16.5	-2.5
26	3008	19.2	15.9	7.5	37	54	1.5	14.9	2.9	8.2	0.7
28	909	30.3	24.5	16.0	55	48	0.0	13.4	3.3	14.5	-1.5
29	1409	10.1	8.9	1.3	105	120	0.3	13.4	0.3	1.0	-0.3
34	2509	9.2	8.1	3.4	20	103	0.0	7.7	0.2	3.1	-0.3
35	210	29.1	21.2	15.6	105	140	0.0	11.9	0.8	10.3	-5.3

Bassin S2 : Annee 1979

C= .31

W= .8

B= .42

RO= 50

INF(Tp) = 6.7 *Tp: 60+ 13.4 *(1-exp(- .03 *Tp))

DS(ta)=exp(- .021 ta)

C1= .1

C2= .21

C3= .2

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
2	1405	4.6	4.1	1.4	22	341	0.0	4.6	0.0	0.5	-0.9
3	2305	7.0	6.0	2.1	12	217	0.0	7.0	0.4	2.8	0.7
5	3105	43.9	36.9	19.6	140	141	0.0	28.2	3.7	19.3	-0.3
8	1206	14.3	13.0	6.5	30	206	0.0	9.1	0.8	5.6	-0.9
9	1306	15.9	12.2	7.3	30	27	0.4	9.5	1.5	6.5	-0.8
10	1606	10.3	9.4	4.6	18	68	0.4	6.8	1.0	4.3	-0.3
13	2506	30.5	23.2	16.0	50	54	0.0	13.5	3.5	14.9	-1.1
14	3006	4.7	3.2	1.0	5	109	0.4	5.5	0.9	2.3	1.3
15	607	26.2	19.9	13.5	50	143	0.0	12.1	2.5	11.9	-1.6
16	1307	44.1	44.1	24.5	55	144	0.1	18.3	7.4	25.1	0.6
17	1607	19.9	16.1	9.2	40	80	1.4	11.9	2.8	8.4	-0.8
18	2107	15.3	14.5	6.6	40	104	0.3	10.7	0.7	5.3	-1.3
19	2307	14.3	13.5	8.0	25	46	0.3	5.6	1.4	6.2	-1.8
21	2807	51.8	39.9	31.0	100	101	0.1	13.8	7.0	26.8	-4.2
29	2808	10.5	5.3	4.3	20	83	0.0	7.0	0.3	3.8	-0.5

Bassin S3 : Annee 1978

C= .21

W= .8

B= .2

RO= 50

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 22.5 *(1-exp(- .028 *Tp))

DS(ta) = exp(- .021 ta)

C1= .07

C2= .14

C3= .1

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
2	2605	11.0	9.5	1.5	20	112	0.0	18.8	0.0	2.3	0.8
3	106	64.4	51.9	20.0	105	126	0.0	29.5	20.5	20.5	0.5
6	806	43.4	42.5	18.0	180	54	0.8	-1.2	7.3	11.3	-6.7
7	2006	22.6	20.9	8.5	50	276	0.0	3.5	1.5	5.3	-3.2
24	2208	56.0	53.9	16.2	40	100	0.0	33.4	22.6	19.4	3.2
25	2808	31.3	29.5	10.1	47	148	1.0	13.3	8.0	9.0	-1.1
26	3008	17.8	15.0	5.7	30	54	2.6	7.4	4.2	4.3	-1.4
28	909	30.0	24.2	8.6	60	48	0.0	17.3	4.3	7.7	-0.9
31	1909	4.5	4.3	0.7	12	44	0.4	6.9	0.4	0.7	-0.0
32	2009	6.2	5.7	1.3	7	35	0.2	6.1	1.2	1.6	0.3
34	2510	7.3	6.9	0.4	17	103	0.1	18.5	0.1	1.3	0.9
35	210	28.0	23.7	6.9	80	140	0.0	22.0	1.6	6.4	-0.5

Bassin S3 : Annee 1979

C= .21 W= .8 B= .2 R0= 50
 INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 22.5 *(1-exp(- .028 *Tp)) DS(ta)=exp(- .021 ta)
 C1= .07 C2= .14 C3= .1

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
1	105	8.7	6.4	1.7	35	999	0.0	9.5	0.0	1.1	-0.6
2	1405	6.5	6.3	1.2	20	341	0.0	8.1	0.0	0.9	-0.3
3	2305	4.5	4.4	0.3	15	217	0.0	10.9	0.0	0.5	0.2
5	3105	41.0	33.6	10.1	130	141	0.0	32.1	6.2	10.7	0.6
8	1206	10.3	9.2	2.5	20	206	0.0	6.7	0.0	2.1	-0.4
9	1306	14.4	11.6	5.0	25	27	0.0	4.0	0.7	3.3	-1.7
10	1606	9.3	8.4	2.7	15	68	0.2	5.4	0.5	2.1	-0.6
13	2506	28.6	19.8	5.8	45	54	0.0	27.9	4.9	7.7	1.9
16	1307	37.9	37.1	10.7	55	144	0.1	24.0	10.2	11.4	0.7
18	2107	12.4	11.3	3.2	25	104	0.4	6.2	0.4	2.6	-0.6
19	2307	15.4	13.6	3.4	20	46	0.1	14.2	2.7	4.1	0.7
21	2807	45.4	35.6	12.5	100	101	0.2	28.6	10.1	12.9	0.4
27	2208	17.0	15.0	4.9	52	24	0.0	3.3	0.0	3.2	-1.7
29	2808	10.3	5.2	1.7	18	83	0.0	13.9	0.0	2.1	0.4
30	2908	28.4	27.2	6.8	55	20	0.0	24.0	4.4	7.5	0.7

Bassin S3 : Annee 1980

C= .21

W= .8

B= .2

RO= 50

INF(Tp) = 3.3 *Tp: 60+ 22.5 *(1-exp(- .028 *Tp)) DS(ta) = exp(- .021 ta)

C1= .07

C2= .14

C3= .1

No	Date	P	Pc	LR. obs	Tp	Ta	S'	INF	S	LR. cal	Diff.
7	1306	5.2	3.8	2.0	13	40	0.0	-4.2	0.0	0.8	-1.2
8	2506	5.1	4.7	1.0	20	289	0.0	5.7	0.0	0.5	-0.5
10	3006	15.0	13.5	5.2	25	51	0.0	4.5	1.2	3.5	-1.7
13	707	10.1	8.5	3.0	30	17	0.2	1.0	0.2	1.7	-1.3
16	1507	56.7	51.5	13.9	140	38	0.0	45.7	15.3	17.1	3.2
17	1707	10.1	9.6	3.0	15	51	5.2	5.6	6.1	2.4	-0.6
18	2007	6.4	3.2	1.0	10	69	1.4	9.2	1.4	1.3	0.3
20	2607	10.9	7.8	2.0	15	66	0.1	11.7	1.1	2.6	0.6
23	108	9.0	8.5	2.2	85	3	0.2	11.7	0.2	0.6	-1.6
24	408	6.8	3.4	1.9	10	62	0.1	3.8	0.1	1.4	-0.5
25	508	4.5	2.4	1.5	15	29	0.1	-1.5	0.1	0.5	-1.0
26	608	17.9	13.9	7.6	20	25	0.0	-2.1	3.8	5.0	-2.6
30	1908	19.1	12.0	4.9	25	42	0.0	13.2	2.9	5.0	0.1
31	2208	4.4	3.4	0.8	5	64	0.8	4.8	1.3	1.1	0.3
31	2208	4.9	4.4	1.6	13	0	1.3	-0.9	1.3	0.8	-0.8
33	3008	9.5	8.6	3.6	55	16	0.0	-6.7	0.0	0.9	-2.7
34	109	8.9	7.8	1.5	15	36	0.0	10.5	0.1	1.9	0.4
36	409	25.1	23.2	7.2	60	22	9.1	15.1	11.0	5.9	-1.3
37	609	9.6	8.5	2.4	12	64	2.9	7.5	4.2	2.5	0.1
38	909	15.1	14.4	3.6	22	62	1.1	12.8	3.2	3.9	0.3
40	1809	17.8	16.5	4.0	30	138	0.0	16.2	1.9	4.4	0.4
41	2109	11.5	8.8	0.4	33	75	0.4	31.1	0.4	2.0	1.6