

# MÉTHODE D'EXTRAPOLATION DU COEFFICIENT DE RUISSELLEMENT SUR LES BASSINS EXPÉRIMENTAUX DE LA ZONE SAHÉLIENNE DU TCHAD

par

**André BOUCHARDEAU**

*Directeur de Recherches à l'O.R.S.T.O.M.*

## RECHERCHES SUR LES CRUES DE LA ZONE SAHELO-SOUDANIENNE DU TCHAD

Les particularités de l'écoulement sur les trois bassins expérimentaux étudiés dans les massifs cristallins du TCHAD ont conduit à des interprétations originales des observations, grâce à des théories différentes de celles qui sont valables dans des régions plus arrosées.

Dans les régions tchadiennes, sahéliennes et subdésertiques, les précipitations annuelles sont insuffisantes pour réaliser l'écoulement continu sur toute la longueur des cours d'eau. Ces phénomènes d'endoréisme sont la règle - endoréisme "en grand" tel le BATHA aboutissant dans la dépression du lac FITRI - ou endoréisme "en petit", tel que nous l'observons sur l'ouadi KAOUN dont le bassin supérieur reste isolé, sauf lors de précipitations très exceptionnelles.

Les tornades séparées par des périodes de sécheresse pendant lesquelles le bassin a le temps de "ressuyer" produisent des crues nettement individualisées.

La perméabilité des sols s'étend sur une très large gamme, mais, sur tous ces bassins, l'extension des zones imperméables reste faible.

L'hétérogénéité du ruissellement qui résulte des différences de perméabilité est encore accentuée par le relief. Dans chaque bassin, nous trouvons deux zones très contrastées : celle des massifs abrupts, formés de granito-gneiss, et celle des alluvions disposées suivant différents étages subhorizontaux.

Bien certainement, ces divers caractères se retrouvent universellement, mais rarement sans doute d'une manière aussi accusée.

Ainsi, "l'état de sécheresse du sol au début de chaque tornade", et la "diversité de l'infiltration sur les différents sols du bassin" sont les facteurs primordiaux de l'écoulement ; alors que ce ne sont que des facteurs secondaires dans les régions de forte pluviométrie ou, bien entendu, sur des sols imperméables.

En raison de cette circonstance, nous avons pu étudier avec plus de précision l'écoulement sur ces bassins. Après avoir constaté qu'en introduisant ces deux caractéristiques, nous parvenions à interpréter des résultats qui, à l'état brut, étaient assez incohérents, nous avons déduit une méthode d'extrapolation paraissant applicable dans d'autres zones climatiques.

## CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LES ERREURS COMMISES DANS L'ÉVALUATION DES CRUES EXCEPTIONNELLES

On sait que l'étude des crues exceptionnelles des bassins expérimentaux comporte deux opérations successives : l'une cherchant à déterminer comment se répartit dans le temps l'écoulement à la station des eaux ayant ruisselé sur le bassin ; l'autre visant à obtenir le volume de la crue correspondant à une averse exceptionnelle donnée.

a) L'examen des hydrogrammes des crues observées conduit au choix de l'hydrogramme unitaire, qui rappelons-le, correspondrait à une pluie idéalement brève et homogène.

Entre tous les hydrogrammes retenus pour ce choix, les différences ne sont pas très grandes. Les diagrammes de répartition accuseront par exemple des différences de 5 à 10 % pour l'ordonnée du maximum qui, seul, nous intéresse pour la détermination de la crue exceptionnelle.

Le chapitre consacré dans l'étude des bassins expérimentaux à la recherche de l'hydrogramme unitaire est souvent surabondant, et dissimule la question essentielle, et beaucoup plus aléatoire, de la détermination du volume de la crue exceptionnelle.

b) On parvient à ce volume par l'observation directe du mécanisme des précipitations et de leur ruissellement puis par extrapolation à la précipitation exceptionnelle qui est en général connue par les observations qui ont été faites à la station OMM la plus proche, sur un grand nombre d'années.

Pour ce qui est des précipitations, les difficultés proviennent de deux incertitudes principales :

1°) Pour appliquer à un bassin de surface déterminée la précipitation observée en un point, si l'on peut considérer comme telle la surface de l'entonnoir du pluviomètre OMM, nous utilisons un coefficient de réduction qui peut varier entre 0,80 et 0,95 suivant les hypothèses de base (voir chapitre II paragraphe 2).

2°) Le volume de la crue diffère, à hauteur de précipitation égale, suivant l'intensité de la précipitation. En effet, le coefficient d'écoulement croît très rapidement avec cette intensité.

Le hyétogramme peut être choisi selon deux principes différents : la méthode classique consiste à choisir un hyétogramme correspondant au type le plus fréquemment rencontré. En général, il comprend une courte tête de faible intensité ; le corps de la tornade d'intensité maxima, en deux temps, le deuxième étant moins intense ; la queue de tornade d'intensité très faible et de longue durée. Le corps du hyétogramme doit présenter une forme adaptée à la courbe intensité-durée correspondant à la fréquence choisie telle qu'elle résulte de l'étude de la collection de hyétogrammes observés, ceci limite l'intensité maxima. Le hyétogramme choisi correspond à une pluie continue.

Nous avons essayé une nouvelle méthode qui suppose, au contraire, une pluie par rafales, type qui est assez courant lors des très fortes précipitations qui comportent, dans ce cas, soit plusieurs tornades successives, soit des pointes dédoublées. En respectant la courbe d'intensité-durée, ce hyétogramme permet des intensités instantanées beaucoup plus fortes que le hyétogramme classique et conduit, par conséquent, à un volume de crue plus important que la tornade unique correspondant à la même hauteur.

Nous devons cependant prendre garde à la condition supplémentaire qui résulterait de l'emploi d'un hyétogramme de forme peu fréquente, condition qui réduirait la probabilité de la crue, astreinte déjà à résulter de la précipitation ne se produisant qu'une fois pendant une période donnée. De sorte qu'en définitive, l'averse adoptée serait de fréquence nettement plus faible que celle que l'on voudrait utiliser. La discussion est donc ouverte pour savoir si une forte pluie "par rafales" est de type moins courant qu'une forte pluie "continue" ; la réponse ne pourra être donnée que par l'examen d'un grand nombre de hyétogrammes, et ce travail est en cours.

Mais, les calculs faits par les deux méthodes ne donnent pas des résultats très différents. En fin de compte, ce ne sont pas les incertitudes relatives à la forme du hyétogramme qui priment, mais bien celles relatives à la valeur du rapport précipitation moyenne maximum ponctuel et surtout celles résultant de la méconnaissance du mécanisme de ruissellement.

Ceci est particulièrement délicat pour les bassins subdésertiques où les pluies fortes sont extrêmement rares. L'extrapolation aux précipitations exceptionnelles n'est faite souvent qu'en partant de précipitations très inférieures (parfois moitié moindres) tant en hauteur qu'en intensité. A plus forte raison quand il s'agit de bassins assez perméables.

Les écarts entre différentes estimations des coefficients de ruissellement peuvent varier de 25 % suivant les façons d'interpréter les observations. L'extrapolation est souvent faite en prolongeant une courbe établie à partir des points observés, qui sont à peine groupés en nuages, ceci pour une raison très simple, c'est que la caractéristique choisie pour représenter l'écoulement n'est étudiée qu'en fonction des variations du ou des facteurs les plus importants, par exemple l'intensité ou la hauteur de précipitation ou le délai le séparant de la pluie précédente, alors qu'il en existe au moins deux ou trois autres dont l'influence est loin d'être négligeable. L'extrapolation se fait aussi par vraisemblance en se reportant à des bassins analogues. Dans les deux cas, les évaluations ne s'appuient pas sur un calcul précis et le long exposé fixant successivement le diagramme de répartition, la pluie moyenne exceptionnelle, et le hyétogramme de la pluie exceptionnelle, s'avère un peu ridicule quand il bute sur l'évaluation à 25 % près du coefficient de ruissellement. C'est pourquoi nous estimons indispensable de nous attacher à ce problème.

## I. EXPOSÉ THÉORIQUE DE LA MÉTHODE

### Variation théorique de l'intensité excédentaire et de la capacité d'infiltration en fonction de l'intensité des précipitations.

#### A . VARIATION POUR UNE PLUIE HOMOGÈNE ET CONSTANTE :

Sans nous préoccuper, pour l'instant, de relier ces hypothèses aux conditions naturelles, nous considérons un bassin dont les sols présentent des perméabilités déterminées et constantes recevant une pluie continue d'intensité invariable I. Nous dessinons une carte des perméabilités, chaque sol de perméabilité  $P_i$  s'étendant sur une surface  $S_i$ .

Le régime permanent établi, le débit s'écoulant à la station, résultera de l'excédent des précipitations sur les infiltrations. Ceci pour les parcelles où l'intensité de précipitation est plus forte que la perméabilité, car le débit provenant des autres parcelles où l'intensité est inférieure ou égale à la perméabilité est évidemment nul.

Les parcelles étant classées par ordre de perméabilité croissante, on pourra écrire :

$$Q = \sum_1^p (I - P_i) S_i$$

I = intensité de l'averse supposée constante

Q = débit permanent

"i" variant de 1 à p, "p" parcelles ont une perméabilité inférieure à I, et les parcelles "p + 1 à n" ont une perméabilité supérieure.

Par définition, l'intensité excédentaire  $I_{exc}$ , est égale à  $\frac{Q}{S}$  "S" étant la surface du bassin versant, donc :

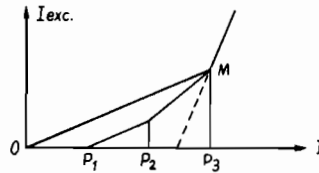
$$I_{exc} = \sum_1^p (I - P_i) \frac{S_i}{S}$$

Pour représenter les variations de  $I_{exc}$  en fonction de  $I$ , nous pouvons tracer une courbe théorique constituée par une ligne brisée, dont chaque sommet correspond à :

$$I = P_k$$

$$I_{exc} = \sum_1^k (I - P_i) \frac{S_i}{S}$$

"i" variant de 1 à k.



La capacité d'infiltration apparente de l'ensemble du bassin se définit simplement par :

$$C_i = I - I_{exc}$$

On peut mettre cette équation sous une forme qui fasse ressortir la propriété de  $C_i$  d'atteindre une limite quand  $I$  dépasse toutes les perméabilités du bassin, donc quand tout le bassin ruisselle.

$$C_i = I - I_{exc} = I - I \sum_1^p \frac{S_i}{S} + \sum_1^p \frac{P_i S_i}{S}$$

Quand  $I$  est supérieur à toutes les perméabilités du bassin :

$$\sum_1^p \frac{S_i}{S} = 1 \quad (p = n)$$

les deux premiers termes s'annulent et il reste :

$$C_i = \sum_1^n \frac{P_i S_i}{S}$$

terme ne dépendant plus de l'intensité.

$$\text{Alors } I_{exc} = I - C_i = I - \sum_1^n \frac{P_i S_i}{S}$$

$I_{exc}$  est représenté dans ce cas en fonction de  $I$  par une droite à 45° coupant l'axe des abscisses pour :

$$I = \sum_1^n \frac{P_i S_i}{S}$$

Le coefficient de ruissellement  $\frac{I_{exc}}{I}$  est représenté par la pente de la droite OM. Il ne varie pas de façon simple en fonction de  $I$ , il croît d'abord très lentement, puis de plus en plus rapidement et tend vers une limite 100% qu'il n'atteint que pour des valeurs asymptotiques de  $I$ .

On constate donc que pour des valeurs de  $I$  croissantes,  $C_i$  croît jusqu'à une limite qui correspond à la capacité d'infiltration constante que l'on représente souvent dans les théories les plus simples des hydrogrammes unitaires ; ceci se justifie souvent pour les bassins peu perméables puisque l'on n'étudie que des averses de fortes intensités, mais, dans ce cas, pour les faibles averses et dans presque tous les cas, pour les averses assez perméables,  $C_i$  se trouve en-dessous de cette limite.

Pratiquement, il n'existe pas au TCHAD, dans les zones cristallines, de bassin versant qui puisse ruisseler sur toute sa surface, même pour la plus forte intensité de précipitation connue et il s'en faut de beaucoup.

On peut donc affirmer que la valeur  $\sum_1^n \frac{P_i S_i}{S}$  est une limite supérieure de  $C_i$  et que les points représentatifs de  $I_{exc}$  sont tous situés à gauche de la droite

$$I_{exc} = I - \sum_1^n \frac{P_i S_i}{S}$$

## B - APPLICATION AUX BASSINS VERSANTS DES OUADI ABOU-GOULEM BAGWA ET KAOUN.

Les cartes de perméabilité des trois bassins ont été établies à partir de cartes pédologiques. A un type de sol donné correspondait généralement une perméabilité homogène.

Les perméabilités ont été mesurées par les méthodes MÜNTZ et PORCHET sur le terrain et par la méthode HENIN au Laboratoire (cette dernière pour le bassin de BAGWA seulement).

A l'expérience, nous nous sommes rendu compte qu'il fallait porter toute notre attention sur les sols les moins perméables du bassin et qu'au contraire l'étude précise des parcelles où la perméabilité dépasse 100 mm/heure est sans grande utilité puisqu'elles n'interviennent pas dans le ruissellement et qu'elles absorbent les pluies les plus intenses

Les surfaces des parcelles ont été classées suivant la perméabilité croissante, la valeur choisie pour chaque catégorie étant la plus fréquente pour le sol saturé (en général, après 10 minutes d'observations par la méthode MÜNTZ).

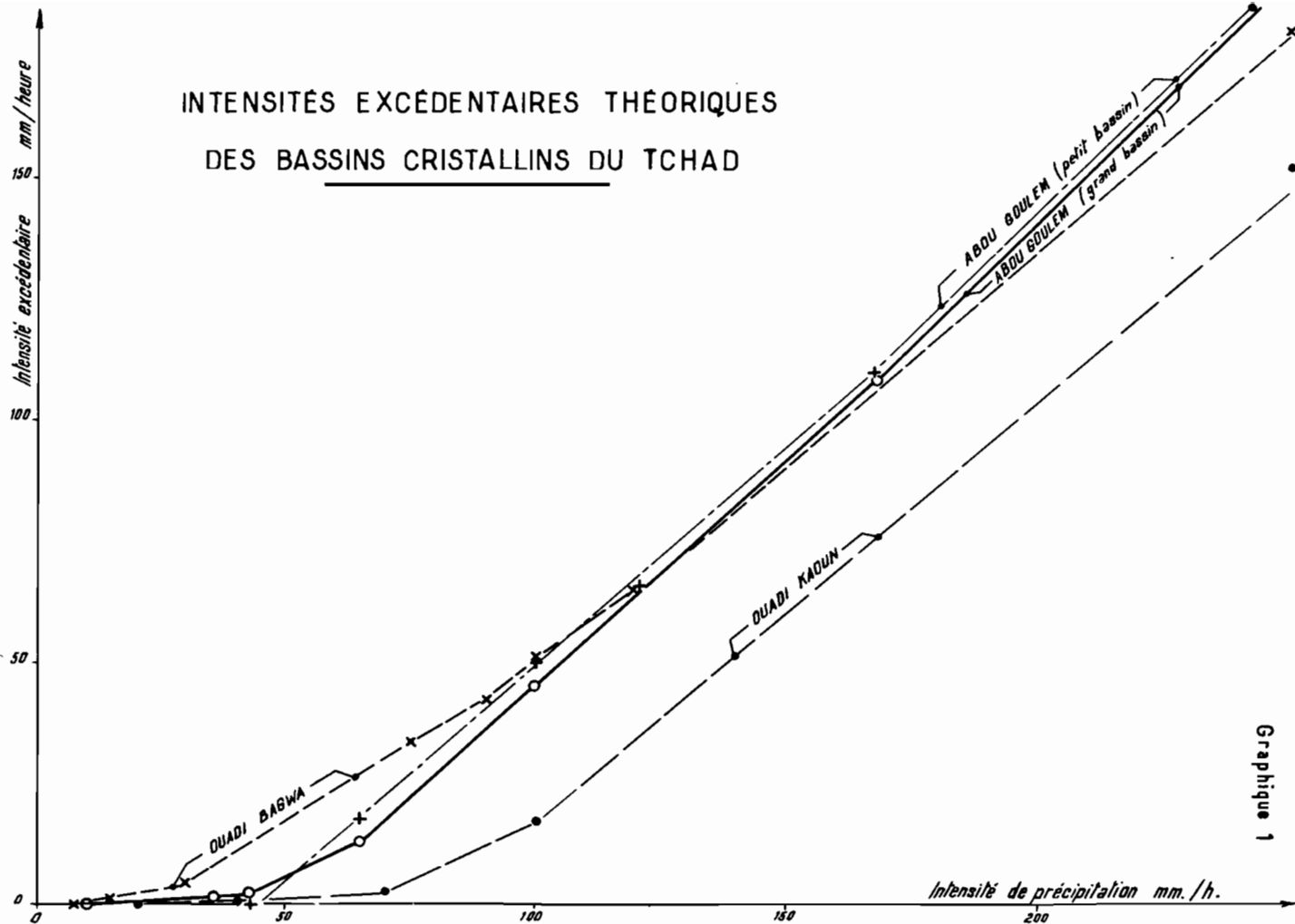
ABOU-GOULEM			BAGWA			KAOUN			PETIT BASSIN		
Surface 50 km <sup>2</sup>			Surface 36,6 km <sup>2</sup>			Surface 56 km <sup>2</sup>			Surface 10 km <sup>2</sup>		
$\frac{S_i}{\text{km}^2}$	$\frac{S_i}{S}$	$\frac{P_i}{\text{mm/h}}$	$\frac{S_i}{\text{km}^2}$	$\frac{S_i}{S}$	$\frac{P_i}{\text{mm/h}}$	$\frac{S_i}{\text{km}^2}$	$\frac{S_i}{S}$	$\frac{P_i}{\text{mm/h}}$	$\frac{S_i}{\text{km}^2}$	$\frac{S_i}{S}$	$\frac{P_i}{\text{mm/h}}$
0,3	0,006	10	3,6	0,1	8	1,0	0,018	20	8,1	0,8	43
4,5	0,090	26	5,6	0,15	15	3,0	0,054	40	1,0	0,10	65
22,0	0,440	43	14,6	0,40	30	23,0	0,410	70	0,9	0,09	166
20,7	0,414	65	2,5	0,07	75	21	0,375	100			
2,5	0,050	166	6,3	0,17	120	8	0,143	300			
			4,0	0,11	250						

Le calcul des valeurs théoriques de  $I_{exc}$  et  $C_i$  a été effectué dans des tableaux, dont nous donnons un exemple (grand bassin de l'ouadi KAOUN).

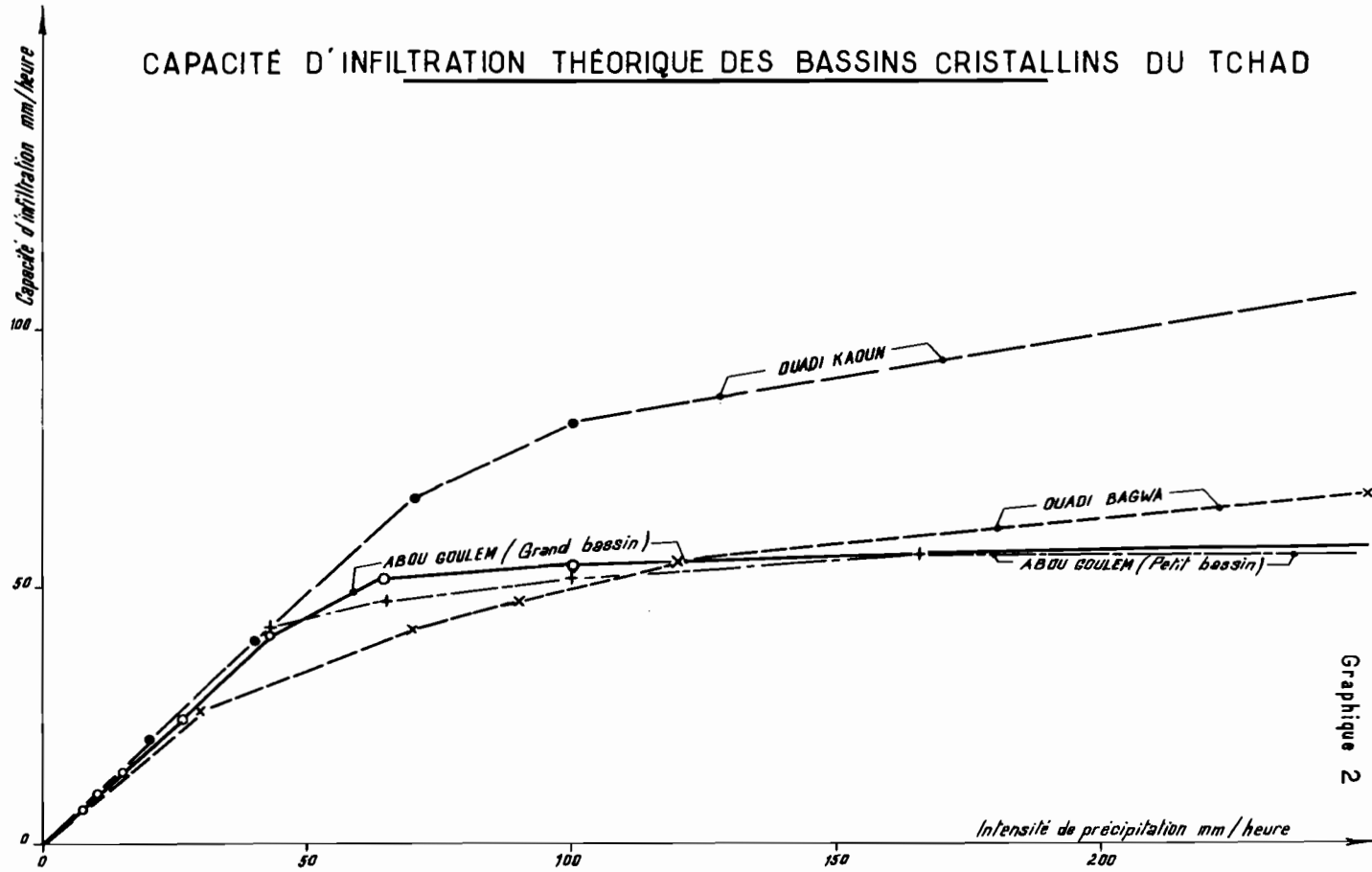
Les graphiques n° 1 et 2 représentent les courbes théoriques  $I_{exc}$  et  $C_i$  obtenues pour les trois bassins. Seule, la partie inférieure des courbes est utilisée en pratique, puisque l'intensité de précipitation ne dépasse pas 100 mm/h.

On remarquera les valeurs du coefficient de ruissellement  $K_R = \frac{I_{exc}}{I}$  pour la valeur de 100 mm/h de l'intensité de précipitation, soit 18 % pour l'ouadi KAOUN, 47 et 50 % pour le grand et le petit bassin de l'ouadi ABOU-GOULEM, 52 % pour l'ouadi BAGWA.

INTENSITÉS EXCÉDENTAIRES THÉORIQUES  
DES BASSINS CRISTALLINS DU TCHAD



# CAPACITÉ D'INFILTRATION THÉORIQUE DES BASSINS CRISTALLINS DU TCHAD



Graphique 2

Ouadi KAOUN (B. V. de 56 km<sup>2</sup>)

Tableau de calcul de I exc et C<sub>i</sub>

Surface km <sup>2</sup> S <sub>i</sub>	Per- méabi- lité mm/h P <sub>i</sub>	$\frac{S_i}{S}$	Valeur de $(1 - P_i) \frac{S_i}{S}$ pour I en mm/heure					$\frac{P_i S_i}{S}$
			20	40	70	100	300	
1	20	0,018	0	0,36	0,90	1,44	5,05	0,36
3	40	0,054		0	1,62	3,24	14,05	2,16
23	70	0,410			0	12,30	94,25	28,70
21	100	0,375				0	75,03	37,50
8	300	0,143					0	42,90
Intensité I exc			0	0,36	2,52	16,98	188,38	
Capacité C <sub>i</sub>			20	39,64	67,48	83,02	111,62	111,62

Résultats des calculs

ABOU-GOULEM (petit bassin de 10 km<sup>2</sup>)

I	43	65	166	100	$\frac{P_i S_i}{S}$
I exc	0	17,8	109,8	49,7	
C <sub>i</sub>	43	47,2	56,2	50,3	56,2

ABOU-GOULEM (grand bassin de 50 km<sup>2</sup>)

I	10	26	43	65	166	100	$\frac{P_i S_i}{S}$
I exc	0	0,09	1,66	13,54	108,9	46,5	
C <sub>i</sub>	10	25,91	41,34	51,46	57,07	53,5	57,07

Ouadi BAGWA (bassin de 36,6 km<sup>2</sup>)

I	8	15	30	75	90	100	120	250	$\frac{P_i S_i}{S}$
I exc	0	0,7	4,4	33,7	43,2	51,6	65,8	181,8	
C <sub>i</sub>	8	14,3	25,6	41,3	46,8	48,4	54,2	68,2	68,2

**C - EXTENSION DE LA THÉORIE AUX PRÉCIPITATIONS DE DURÉE LIMITÉE.**

Dans la réalité, le régime permanent n'est jamais atteint parce qu'une pluie d'intensité constante de durée illimitée n'existe pas. Mais il est toujours possible de fractionner une averse en périodes pendant lesquelles l'intensité reste pratiquement constante. Chacune de ces précipitations partielles est responsable d'un débit



variant suivant la théorie classique des hydrogrammes. Observée à la station, la crue est le total des débits résultant des précipitations successives d'intensité constante. Nous nous trouvons donc dans des conditions très différentes du régime permanent.

Cependant, si le lit est saturé, tout le volume qui a ruisselé parviendra tôt ou tard à la station. La théorie s'appliquera en considérant pour chaque période, non pas le débit réel à la station, mais un débit fictif correspondant au volume ruisselé pendant la durée de la précipitation sur le terrain.

L'intensité excédentaire correspondra au débit fictif rapporté à l'unité de surface. Les intensités excédentaires seront différentes pour les périodes successives, puisqu'elles sont fonction des diverses intensités de précipitations supposées constantes.

Il sera très difficile de distinguer, sur une crue réellement observée, les crues partielles résultant de périodes de diverses intensités de précipitation constante et l'on ne peut guère raisonner que sur des crues simples

Par contre, quand il s'agit d'évaluer la crue exceptionnelle, il sera facile de reconstituer l'hydrogramme résultant d'une intensité de précipitation variable, et possible de choisir un hyétogramme aussi complexe qu'il sera nécessaire.

## D. EXTENSION DE LA THÉORIE AUX BASSINS NON SATURÉS.

Nous avons fait l'hypothèse d'une perméabilité constante dans le temps et considéré que la perméabilité se confondait, pour chaque parcelle, avec la capacité d'infiltration. Or cette capacité d'infiltration apparente varie extrêmement suivant l'état de sécheresse du sol, de la couverture végétale, du remplissage des micromares etc... et elle est ainsi différente de la perméabilité du sol lui-même.

Dans la pratique, cependant, et surtout pour les terrains assez perméables, la capacité d'infiltration de chaque parcelle reste à peu près constante dès qu'une certaine quantité d'eau est tombée sur le bassin, que nous appellerons "précipitation limite", et à partir de cet instant la capacité d'infiltration se confond vraiment avec la perméabilité des couches supérieures (5 à 10 cm) du sol lui-même. Nous considérons que la théorie est applicable à partir de l'instant où le bassin est saturé par la "précipitation limite". Ce raisonnement n'est pas valable lorsque la partie superficielle du sol forme avec les premières gouttes de pluie une couche imperméable. Ceci se produit pour des bassins plus argileux et pour la première averse, si elle est très forte. Dans ce dernier cas, les averses suivantes rencontrent des conditions moins favorables au ruissellement. L'humidité de la croûte descend probablement peu à peu, de sorte que le sol devient plus perméable.

Ce phénomène particulier n'a jamais été constaté dans les trois bassins observés et il est fort peu probable qu'il s'y manifeste sur une grande étendue.

## II. CONFRONTATION DE LA THÉORIE ET DES OBSERVATIONS

### A. NÉCESSITÉ D'INTERPRÉTER LES DONNÉES BRUTES.

Les observations pluviométriques et hydrométriques sur les bassins expérimentaux se traduisent par des résultats assez décevants au premier abord.

La dispersion des hauteurs et des intensités de précipitations est notable même sur un bassin de faible dimension et nous concevons que leur moyenne seule est insuffisante pour caractériser la pluviométrie dont le degré d'hétérogénéité doit être chiffré.

Il n'y a pas de corrélation immédiate entre les volumes écoulés dans les rivières et les précipitations sur le bassin. En effet, nous savons qu'il faut distinguer les eaux de ruissellement en surface de celles qui suivent un chemin plus long pour atteindre les lits (écoulement hypodermique et écoulement souterrain).

Mais ceci ne suffit pas à assurer la corrélation : le fait qu'une partie de la pluie est perdue pour le ruissellement au début de chaque tornade doit être pris en considération. Après avoir tenu compte de ce fait, grâce à la notion de "précipitation limite" il sera possible d'examiner si le ruissellement, dégagé des facteurs secondaires, suit une loi conforme à la théorie que nous avons exposée au chapitre précédent.

## B - EXPLOITATION RATIONNELLE DES OBSERVATIONS PLUVIOMÉTRIQUES.

Nous nous préoccupons de caractériser chaque averse avec précision, mais cependant avec un nombre réduit d'éléments, puis nous chercherons la relation entre la pluie en un point et la pluie sur une surface concentrique.

### I - ÉLÉMENTS CARACTÉRISANT L'AVERSE

Hauteur moyenne, écart moyen relatif, pluie au centre, pluie maxima.

Dans l'étude des bassins expérimentaux, on dispose des relevés d'un certain nombre de pluviomètres répartis sur la superficie étudiée.

Ces relevés ne sont pas directement exploitables, et il faut remplacer cet ensemble par un minimum d'éléments qui caractérise l'averse.

La hauteur moyenne est évidemment la donnée essentielle, mais ne donne aucune idée de la répartition. Lorsqu'il s'agit simplement de savoir si la pluie est homogène ou non, on détermine un coefficient de dispersion simple égal à :

$\frac{P_{\text{maximum}} - P_{\text{minimum}}}{P_{\text{moyen}}}$ . On calcule également le coefficient  $\frac{P_{\text{moyen}}}{P_{\text{maximum}}}$  que l'on appelle quelquefois improprement coefficient d'abattement. Mais ces rapports sont insuffisants pour caractériser la répartition spatiale de l'averse si la nature de l'étude exige une analyse plus fine. Il peut arriver que le maximum soit très localisé. En outre, ces coefficients ne donnent aucun renseignement sur la position du centre de gravité de l'averse.

Donc, dans tous les cas où une étude serrée de la distribution spatiale s'impose, on peut procéder comme suit. Les éléments caractérisant l'averse sont établis à partir des relevés des "n pluviomètres" dont les lectures sont :

$$P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$$

P	Hauteur moyenne (1) $P = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n}$
E	Ecart moyen (à la moyenne) $E = \frac{ P - p_1  +  P - p_2  + \dots +  P - p_n }{n}$ (les écarts $ P - p_i $ sont pris en valeurs absolues)
$\frac{E}{P}$	Ecart moyen relatif ou "dispersion"
$P_c$	Pluie au centre, $P_c$ , déterminée à l'aide de 4 pluviomètres groupés au centre du bassin
$P_m$	Pluie maxima $P_m$ est la plus forte pluie relevée
$\frac{P - P_c}{P}$	Rapport qui caractérise l'écart relatif de la pluie au centre à la moyenne
$\frac{P_m - P}{P_m}$	"Coefficient d'abattement"

(1) En supposant les pluviomètres rationnellement répartis.

Examinons les ordres de grandeur de ces éléments pour nos bassins cristallins du TCHAD (de l'ordre de 50 km<sup>2</sup> de superficie).

ÉCARTS MOYENS RELATIFS  $\frac{E}{P}$

Pour 61 averses de plus de 5 mm, la fréquence des écarts moyens a été la suivante pour les différentes valeurs de l'écart moyen relatif.

	Intervalles d'écarts relatifs					
	0-9,9 %	10-19,9 %	20-29,9 %	30-39,9 %	40-49,9 %	50 et plus
Nombre d'averses	2	22	14	11	5	7

Nous constatons que la répartition est souvent très hétérogène puisque dans la moitié des cas l'écart relatif dépasse 25 %.

Or, les pluies très hétérogènes ne doivent pas être retenues pour l'extrapolation du ruissellement aux fortes précipitations. La théorie des hydrogrammes unitaires n'est plus applicable. D'autre part, pour le calcul des crues exceptionnelles, il est sous-entendu que la pluie est également répartie à la surface du bassin ; ce qui correspond sensiblement à la réalité car nous constatons que l'écart moyen relatif, s'il est élevé pour les faibles et moyennes précipitations, décroît rapidement quand la hauteur de précipitation augmente.

LA PLUIE AU CENTRE

La valeur de la pluie au centre du bassin est intéressante à plusieurs points de vue (nous la déterminons par la moyenne des observations de 4 pluviomètres placés dans un rayon de 100 m au centre du bassin).

a) Comparaison de la pluie au centre et de la moyenne

Les écarts relatifs de la pluie au centre à la moyenne calculés pour les 61 averses de plus de 5 mm, se répartissent ainsi :

	Intervalle de $\frac{P_c - P}{P}$					
	0-9,9 %	10-19,9 %	20-29,9 %	30-39,9 %	40-49,9 %	50 et plus
Nombre d'averses	19	20	8	8	3	3

On constate que les écarts  $\frac{P_c - P}{P}$  sont très inférieurs aux écarts moyens relatifs. Il est normal que le centre du bassin soit privilégié et, à défaut d'autres données, la pluie du centre représente assez bien la moyenne générale.

La valeur la plus fréquente de  $\frac{P_c - P}{P}$  est de 14 %.

b) Coefficient de centrage  $\frac{P_c}{P}$

Si la pluie comporte un épïcentre, on conçoit que le rapport  $\frac{P_c}{P}$  est d'autant plus grand que l'épïcentre est plus proche du centre du bassin, et qu'il est maximum quand le maximum est situé au centre.

Il est rare et peu probable que le maximum tombe exactement au centre du bassin : la position quelconque de l'épïcentre explique que l'écart  $\frac{P_c - P}{P}$  soit généralement peu élevé.

II - COEFFICIENT D'ABATTEMENT

Les résultats pluviométriques de l'OMM portant sur de longues durées permettent de calculer les précipitations exceptionnelles de 24 heures qui, pour ces climats, correspondent sensiblement aux averses exceptionnelles.

Il s'agit alors de passer d'observations faites en un point donné à la pluviométrie moyenne sur une surface concentrique.

Il faudra, pour cela, réduire la précipitation qui sera considérée comme maxima au centre du bassin, en utilisant le coefficient d'abattement  $\frac{P_M - P}{P_M}$  qui varie naturellement en fonction de la superficie considérée.

Nous avons observé sur le KAOUN, à ABOU-GOULEM ou à BARLO, très peu d'averses dont l'épicentre coïncidait avec le centre du bassin. La condition précédente n'était donc pas remplie. Pour obtenir le résultat cherché, on a examiné comment variait le coefficient d'abattement  $\frac{P_M - P}{P_M}$  quand  $\frac{P_c}{P}$  augmente, c'est-à-dire quand l'épicentre se rapprochait du centre du bassin.

A excentricité égale des averses, on observe une variation très large de  $\frac{P_M - P}{P_M}$ .

Mais, cette marge de variation se réduit à mesure que le centrage s'améliore. Pour le maximum situé au centre ( $P_M = P_c$ ), on tend vers un intervalle de variation limite de  $\frac{P_M - P}{P_M}$  compris entre 15 et 20 %.

Ainsi, dans la région considérée, il apparaît que la précipitation maxima doit être réduite de 15 % au moins et 20 % au plus pour calculer la précipitation moyenne, ceci pour un bassin de 50 km<sup>2</sup>. Il serait plus élevé, évidemment, pour un bassin de plus grande superficie.

Dans le calcul des crues les plus importantes, on cherche la pluie moyenne la plus importante. C'est donc les valeurs les plus faibles observées pour l'abattement qui doivent être considérées. Nous admettrons 15 % seulement de la pluie maxima relevée en un point pour un bassin de 50 km<sup>2</sup>. Cette dernière condition légèrement restrictive tend d'ailleurs à réduire la fréquence de la crue.

C - PRÉCIPITATION LIMITE NÉCESSAIRE A L'ÉCOULEMENT P<sub>0</sub>.

Au début de chaque averse, une certaine hauteur de pluie est perdue sans provoquer de ruissellement : nous l'appelons "Précipitation limite" P<sub>0</sub>.

PLUVIOMÉTRIE - BASSIN D'ABOU-GOULEM

1958

n°	Dates	P Moyenne	E Ecart moyen	P <sub>M</sub> Max.	P <sub>c</sub> au centre	$\frac{E}{P}$ Ecart moyen relatif %	$\frac{P_M - P}{P_M}$ coefficient d'abattement %	$\frac{P_c}{P}$ coefficient de centrage
1	27/6	10,9	9,7	30,4		89	64	
2	29/6	21,5	8,1	51,2		38	58	
3	30/6	9,4	3,0	18,2			49	
6	7/7	20,9	6,3	32,0	20,5	30	35	0,98
10	19/7	17,2	4,4	35,0	13,6	26	51	0,79
11	20/7	8,8	7,2	31,9	7,4	82	63	0,84

n°	Dates	P Moyen- ne	E Ecart moyen	P <sub>M</sub> Max.	P <sub>c</sub> au centre	$\frac{E}{P}$ Ecart moyen relatif %	$\frac{P_M - P}{P_M}$ coeffi- cient d'abatte- ment %	$\frac{P_c}{P}$ coeffi- cient de centrage
12	22/7	11,8	3,6	31,7	10,5	30	60	0,89
13	23/7	10,3	5,0	27,8	7,1	49	63	0,69
14	24/7	8,7	3,8	18,0	9,2	44	52	1,06
17	28/7	7,1	2,0	12,0	4,8		41	
18	29/7	10,3	5,5	20,5	5,7	53	50	0,55
19	31/7	19,2	3,3	24,0	15,0	17	20	0,78
20	2/8	10,8	2,1	16,0	9,0	19	33	0,83
21	3/8	14,3	4,0	27,2	16,3	28	38	1,14
22	5/8	20,4	5,3	40,1	20,2	26	49	0,99
23	7/8	25,1	4,4	36,0	29,1	17	30	1,16
24	10/8	12,4	1,5	17,0	10,0	12	27	0,81
25	12/8	18,3	5,9	32,5	19,8	32	44	1,08
26	14/8	10,5	3,9	22,5	10,7	37	53	1,02
27	15/8	20,3	7,5	45,7	20,7	37	56	1,02
28	16/8	9,3	1,3	12,4	7,6	14	25	0,82
30	17/8	11,6	1,5	19,3	12,8	13	40	1,10
31	18/8	13,6	1,9	17,0	12,9	14	20	0,95
32	19/8	24,2	5,2	37,0	25,2	21	35	1,04
33	21-22/8	9,4	1,9	16,3	9,8	20	43	1,04
34	23/8	14,7	5,6	26,6	22,2	39	45	1,51
35	26/8	18,1	4,2	27,0	24,8	23	33	1,37
36	30/8	12,6	2,8	20,9	11,2	22	40	0,88
40	20/9	21,8	2,2	26,4	23,7	10	17	1,09

L'étude systématique de la précipitation limite a été faite en cataloguant toutes les pluies, particulièrement les pluies faibles, et en observant à partir de quelle hauteur de pluie se produisait le ruissellement sur le bassin et l'écoulement dans le lit principal. La première limite est inférieure à la seconde, une précipitation supplémentaire étant nécessaire pour remplir les différents lits.

Le résultat de ces recherches est consigné sur le graphique n° 3.

Des études effectuées sur le bassin de l'ouadi KAOUN, en 1956-1957, sur les bassins d'ABOU-GOULEM et de MONGO, en 1958, il est maintenant permis de tirer des conclusions générales :

1°) L'intensité de la précipitation n'intervient pas à condition qu'elle ne tombe pas, naturellement, à des valeurs pour lesquelles il n'y aurait de toute manière pas de ruissellement. Par exemple, pour une pluie sous forme de bruine de longue durée, ce qui est très peu fréquent dans ces régions.

2°) L'état de sécheresse du sol est essentiel. Nous l'avons caractérisé par l'éloignement de l'averse précédente. Les averses inférieures à 5 mm n'ont pas été considérées, car elles se ressuient immédiatement, mais, à partir du moment où il y aura eu ruissellement, la hauteur de précipitation de l'averse précédente, n'intervient pratiquement pas. La saturation du sol sera en effet à peu près semblable en surface quelle que soit cette hauteur. C'est pour cela que l'on obtient une limite très précise entre pluies ayant ruisselé et pluies n'ayant pas ruisselé, quand on représente ces pluies en fonction du temps séparant deux averses successives, sans tenir compte de l'importance de ces averses (graphique 12). Le seul facteur jouant apparaît donc bien comme étant l'éloignement de l'averse précédente.

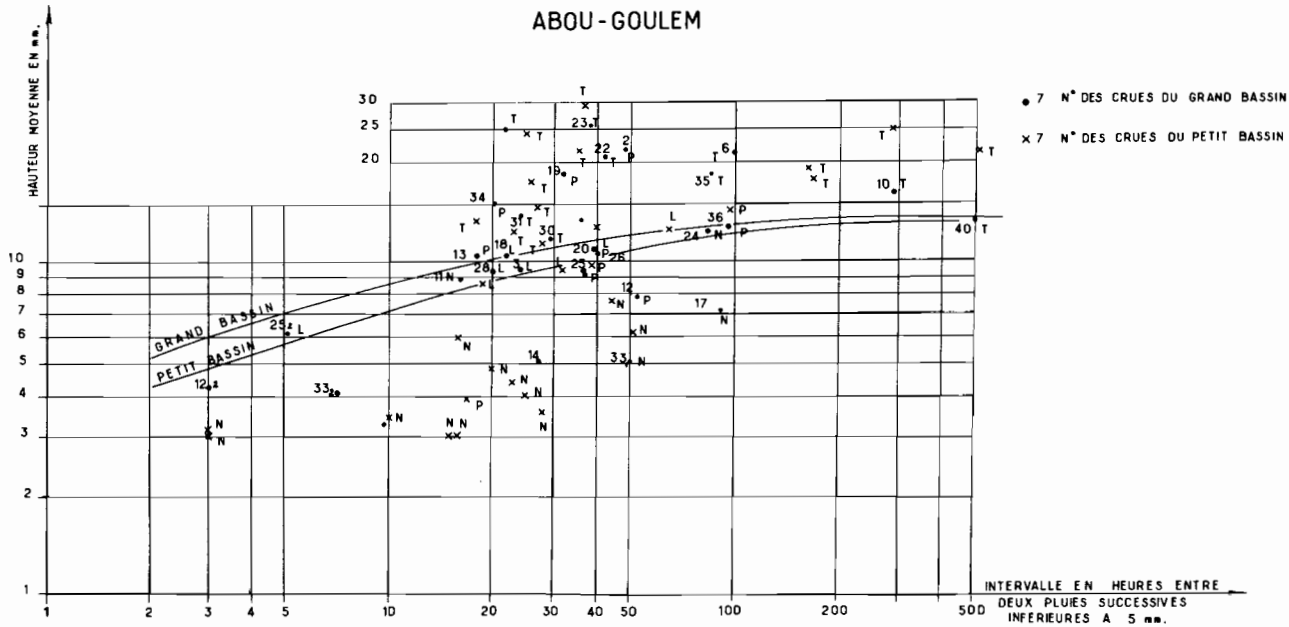
Les courbes que l'on obtient sont ainsi à peu près les mêmes pour l'ouadi KAOUN, l'ouadi ABOU-GOULEM et l'ouadi BAGWA.

P<sub>0</sub> est nul pour deux averses qui se suivent et croît régulièrement jusqu'à une valeur de 13 mm.

# RECHERCHE DE LA PRÉCIPITATION LIMITE D'ÉCOULEMENT

## HAUTEUR - INTERVALLE

ABOU-GOULEM



Graphique 3

Valeur de la hauteur limite d'écoulement en fonction de l'intervalle entre deux pluies :

Intervalle en heures	P <sub>0</sub> mm	Intervalle en heures	P <sub>0</sub> mm
2	3	20	8
3	4	34	9
5	5	100	11
8	6	200	12
12	7	500	13

#### D. SCHEMA DES OPERATIONS DU CALCUL DE L'INTENSITE EXCEDENTAIRE ET DE LA CAPACITE D'INFILTRATION.

Les résultats des observations tant pluviométriques qu'hydrométriques doivent être dépouillés avec discernement.

1°) Les précipitations de répartition trop hétérogène doivent être éliminées car on ne peut pas en tenir compte quand on extrapole les résultats aux fortes précipitations qui sont généralement homogènes. En effet, le coefficient d'abattement est assez faible de toute façon et, s'il s'agit de rafales successives, les épïcêtres de chaque rafale se trouvent rarement sur le même point du bassin. Il en résulte des compensations et une homogénéité qui ne se produisent pas lors des faibles pluies. Cette compensation est comparable à celle qui se produit au cours de l'année entre les diverses averses : les totaux annuels relevés aux différents pluviomètres sont alors peu différents. Pour les bassins du TCHAD, où les fortes tornades observées ont été rares, nous avons dû nous contenter de précipitations assez hétérogènes puisque, pour les meilleures, l'écart moyen relatif atteint 20 %.

2°) En principe, les hyétogrammes présentant des variations importantes d'intensité pendant la durée du ruissellement devraient être éliminés, car il n'est plus possible, alors, de caractériser la tornade par son intensité moyenne de précipitation. Cependant, les variations, même très fortes, de l'intensité, ne sont pas gênantes, si elles ne sont pas de trop longue durée. En effet, le ruissellement et l'infiltration ne se produisent pas immédiatement après la chute des gouttes d'eau sur le sol. Des petites accumulations amortissent la brutalité des rafales. Il est ainsi tout à fait valable de considérer la valeur moyenne de l'intensité pendant la durée de la pluie utile, sans tenir compte des pointes très aiguës du hyétogramme, sauf, évidemment, si le hyétogramme est extrêmement irrégulier pour un même point et surtout d'un pluviographe à un autre.

3°) Le ruissellement ne commence pas effectivement avec la pluie, un temps mort T<sub>0</sub> est nécessaire pour saturer le sol du bassin (très perméable quand il est sec) et remplir les micromares et les lits. Pendant le temps mort, la pluie n'est pas susceptible de produire un ruissellement atteignant la station. Ce temps T<sub>0</sub> correspond à la "précipitation limite" P<sub>0</sub> qui a été déterminée au paragraphe C en fonction de l'éloignement de la pluie précédente caractérisant l'état de sécheresse du bassin.

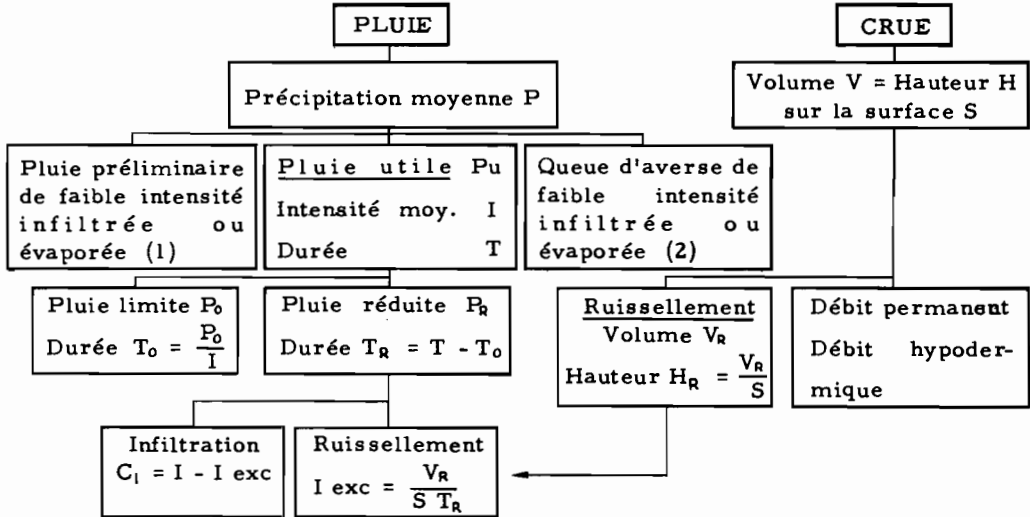
Le "Temps mort" T<sub>0</sub> écoulé, le régime permanent du ruissellement est établi et à l'intensité moyenne de précipitation I correspond une intensité excédentaire I exc qu'on peut considérer comme constante également, pendant la durée du temps réduit (temps utile - temps mort).

En pratique, le régime permanent s'établit brutalement et l'intensité excédentaire I exc passe subitement de 0 à une valeur à peu près constante quand T<sub>0</sub> s'est écoulé. Ce fait peut paraître incompatible avec les conditions naturelles. Cependant, cette discontinuité est bien réelle car il s'agit d'un phénomène de débordement qui s'effectue dès que les différentes cavités superficielles ou proches de la surface du sol se sont remplies, phénomène de débordement qui joue en "tout ou rien".

4°) Le volume du ruissellement V<sub>R</sub> est obtenu en réduisant le débit de crue du débit permanent (s'il y en a un) et du débit hypodermique par des méthodes qui sont bien connues.

L'intensité excédentaire est le volume de ruissellement  $V_R$  rapporté à la durée effective du ruissellement qui est le temps  $T_R$  de la pluie réduite. En effet, pendant le temps utile, l'intensité est bien suffisante pour provoquer le ruissellement, mais nous avons vu que celui-ci ne se produisait qu'après une chute de pluie égale à  $P_0$ , qui dure le temps  $T_0$ .

Schéma des opérations pour le calcul de "I exc" et "C<sub>i</sub>" à partir des observations pluviométriques et hydrométriques



$$T_R = T - T_0$$

$$I \text{ exc} = \frac{V_R}{S T_R}$$

5°) Par définition, la capacité d'infiltration est donnée par  $C_i = I - I \text{ exc}$ . Nous disons "Capacité d'infiltration" et non pas "capacité d'absorption". En effet, lorsque le régime permanent est établi, pendant le "temps réduit", l'infiltration joue seule. La capacité d'absorption considérée dans certaines études, englobait la pluie  $P_0$ , pendant laquelle se produisent d'autres phénomènes que l'infiltration, entre autres, l'interception et l'évaporation pendant l'averse, qui est pratiquement négligeable.

Le coefficient de ruissellement est  $K_{Re} = \frac{I \text{ exc}}{I}$  il est nettement supérieur au coefficient  $K_{Ru}$  qui rapporte le volume de ruissellement à toute la pluie utile, y compris  $P_0$  et au coefficient classique  $K_R$  qui fait intervenir la hauteur totale de l'averse : c'est-à-dire, outre la pluie utile, la pluie préliminaire et la queue d'averse.

## E - RÉSULTATS DES MESURES DE I exc SUR LES BASSINS EXPÉRIMENTAUX du TCHAD.

Les résultats obtenus sur les bassins de l'ouadi KAOUN, de l'ouadi ABOU-GOULEM et l'ouadi BAGWA sont consignés dans le tableau ci-après. Sur les graphiques 4 à 6 nous avons reporté les points que nous comparons aux courbes théoriques établies au début de cette étude, à partir des mesures d'infiltration.

1°) D'une manière générale, les intensités de précipitation ont été mesurées au centre du bassin considéré et contrôlées par des pluviographes situés aux extrémités du bassin. Pour certaines tornades, l'intensité adoptée est discutable parce que la répartition spatiale était hétérogène et que la moyenne ne correspond pas à la valeur mesurée au centre, c'est la principale cause de la dispersion observée sur les graphiques. Ainsi, pour l'ouadi KAOUN, les points 35 et 13 et pour l'ouadi ABOU-GOULEM, les points 19, 22 et 35. Cependant, pour qui connaît l'importance des facteurs de dispersion en telle matière, on peut admettre que la confrontation

(1) Peut parfois être comprise dans  $P_0$ , si son intensité et sa durée sont suffisantes.

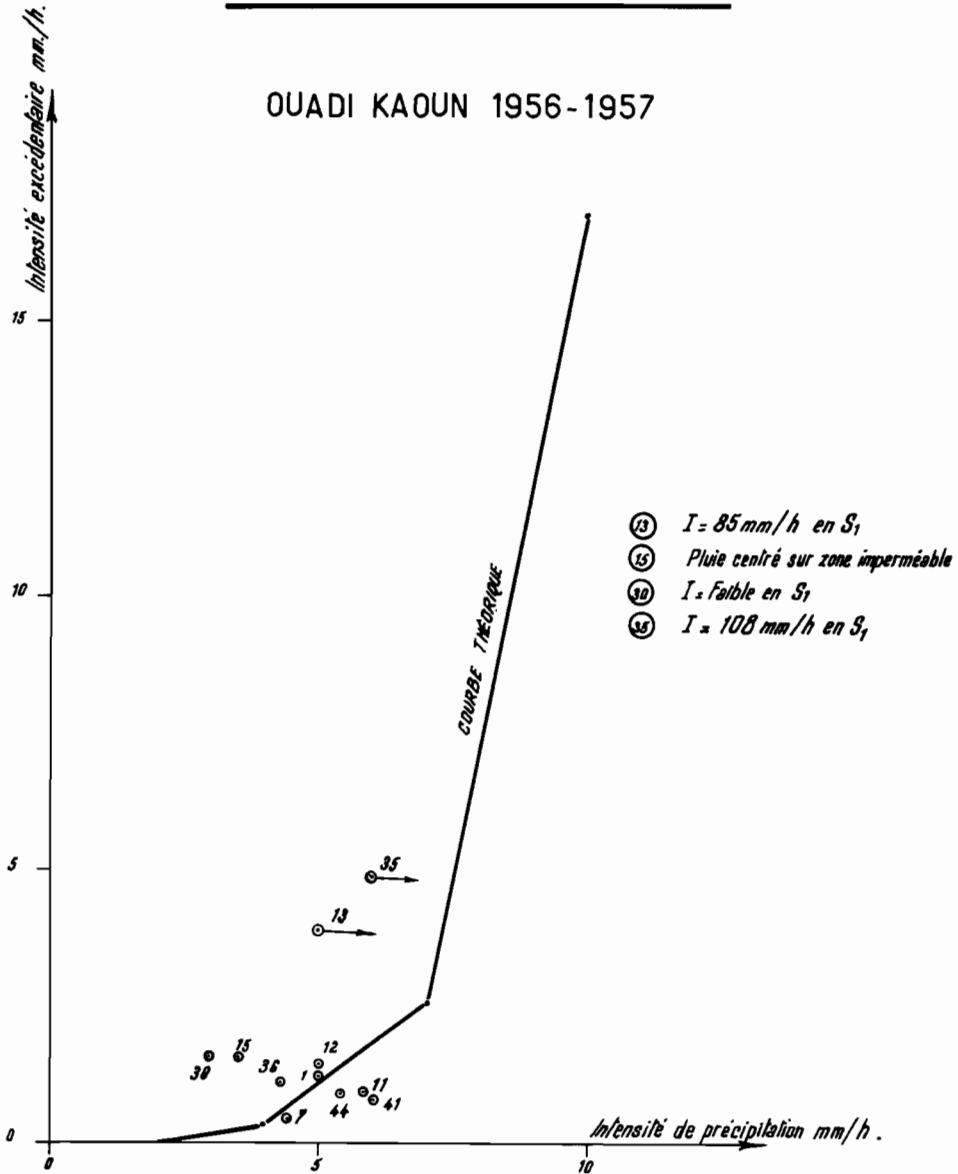
(2) Donnant lieu parfois à des ruissellements parasites généralement faciles à isoler



Graphique 4

INTENSITÉ EXCÉDENTAIRE EN FONCTION  
DES INTENSITÉS MOYENNES DES PRÉCIPITATIONS

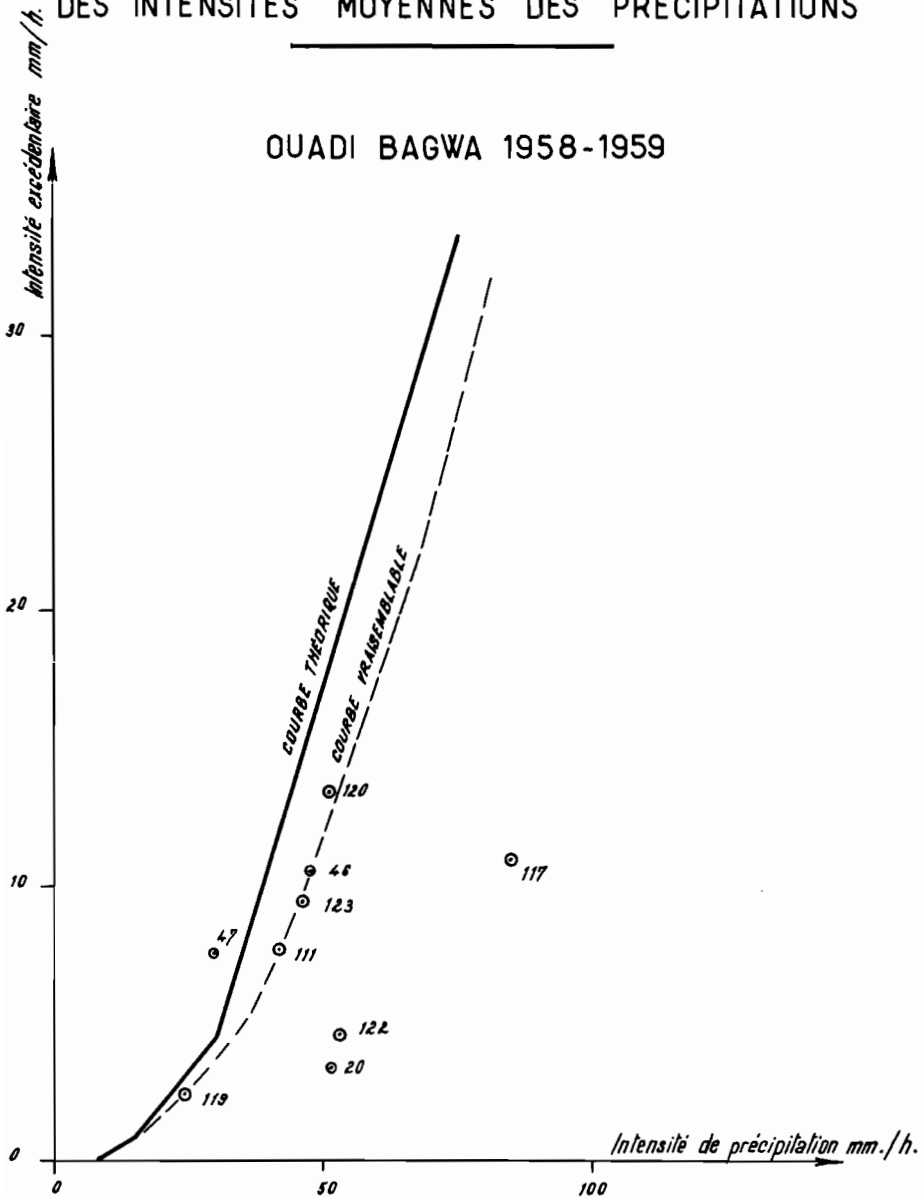
OUADI KAOUN 1956-1957



Graphique 5

INTENSITÉ EXCÉDENTAIRE EN FONCTION  
DES INTENSITÉS MOYENNES DES PRÉCIPITATIONS

OUADI BAGWA 1958-1959



entre les résultats de l'analyse des averses et les mesures d'infiltration est satisfaisante pour les bassins présentant un nombre d'averses suffisant, en particulier ABOU-GOULEM.

2°) Le bassin versant de l'ouadi KAOUN (graphique 4) comprend une très faible superficie imperméable, 4 km<sup>2</sup>, une large superficie semi-perméable de 23 km<sup>2</sup> (K estimé : 70 mm/h), le reste du sol situé dans le bassin amont, d'une superficie de 29 km<sup>2</sup>, ayant une perméabilité supérieure à 100 mm/h. Il en résulte que pour les intensités de précipitations inférieures à 70 mm/h, seule une toute petite superficie, représentant la quatorzième partie du bassin, est susceptible de ruisseler.

D'où une forte discontinuité de la courbe représentant I exc pour cette valeur de 70 mm/h.

Malheureusement, nous avons observé très peu d'averses de forte intensité. Or, pour les faibles intensités et les très faibles ruissellements, le phénomène du ruissellement est très instable et les points très dispersés.

3°) Pour l'ouadi BAGWA (graphique 5), nous n'avons eu que 3 points en 1958 (les observations ont été détruites par un incendie). Les intensités pour les points 20 et 47 ne sont pas sûres.

Les points de 1959 se groupent assez bien autour d'une courbe légèrement décalée, à droite de la courbe théorique. Les perméabilités ont donc été généralement sous-estimées (de 10 mm/h environ).

Les points 117 et 122 sont aberrants, sans raison apparente (l'intensité est en effet semblable au 2e pluviomètre).

4°) Le grand bassin d'ABOU-GOULEM (graphiques n° 6 et 7) en 1958 et 1959 a donné des résultats intéressants ; cependant, la plupart des points seraient mieux groupés autour d'une droite parallèle à la courbe théorique et décalée de 4 mm/h vers la gauche. La perméabilité a donc généralement été surestimée. On remarquera cependant que la dispersion est moins forte qu'il ne semble à première vue, du fait que nous avons choisi une échelle cinq fois plus grande pour les ordonnées.

Certains points sont nettement aberrants. Pour les points 19, 62, 64 et 78, l'explication est simple : l'intensité est en effet beaucoup plus faible au 2e pluviographe, en tenant compte de ce fait le groupement des points est remarquable.

La dispersion est plus forte sur le petit bassin. Pour 64 et 31 nettement aberrants, l'explication est la même que pour le grand bassin. De plus, les terrains n'ont pas été suffisamment différenciés et il existe certainement une zone imperméable qui serait responsable du groupement des points autour de la droite AB.

5°) Nous n'avons pas tenu compte de la végétation. La saison des pluies étant courte, les herbes n'atteignent jamais plus de 30 cm. Dans d'autres régions, ce facteur serait plus important.

VALEURS DES INTENSITÉS EXCÉDENTAIRES  
OBSERVÉES SUR LES BASSINS EXPÉRIMENTAUX

	n°	I	I exc	Observations	
KAOUN	1956	7	44	0,48	Les I exc de l'ouadi KAOUN sont rapportées à la surface du grand bassin de 56 km <sup>2</sup>
		11	58	0,97	
		12	50	1,48	
		13	50	3,90	
		15	35	1,59	
	1957	30	30	1,57	
		35	60	4,91	
		36	43	1,16	
		41	60	0,97	
		44	54	0,89	

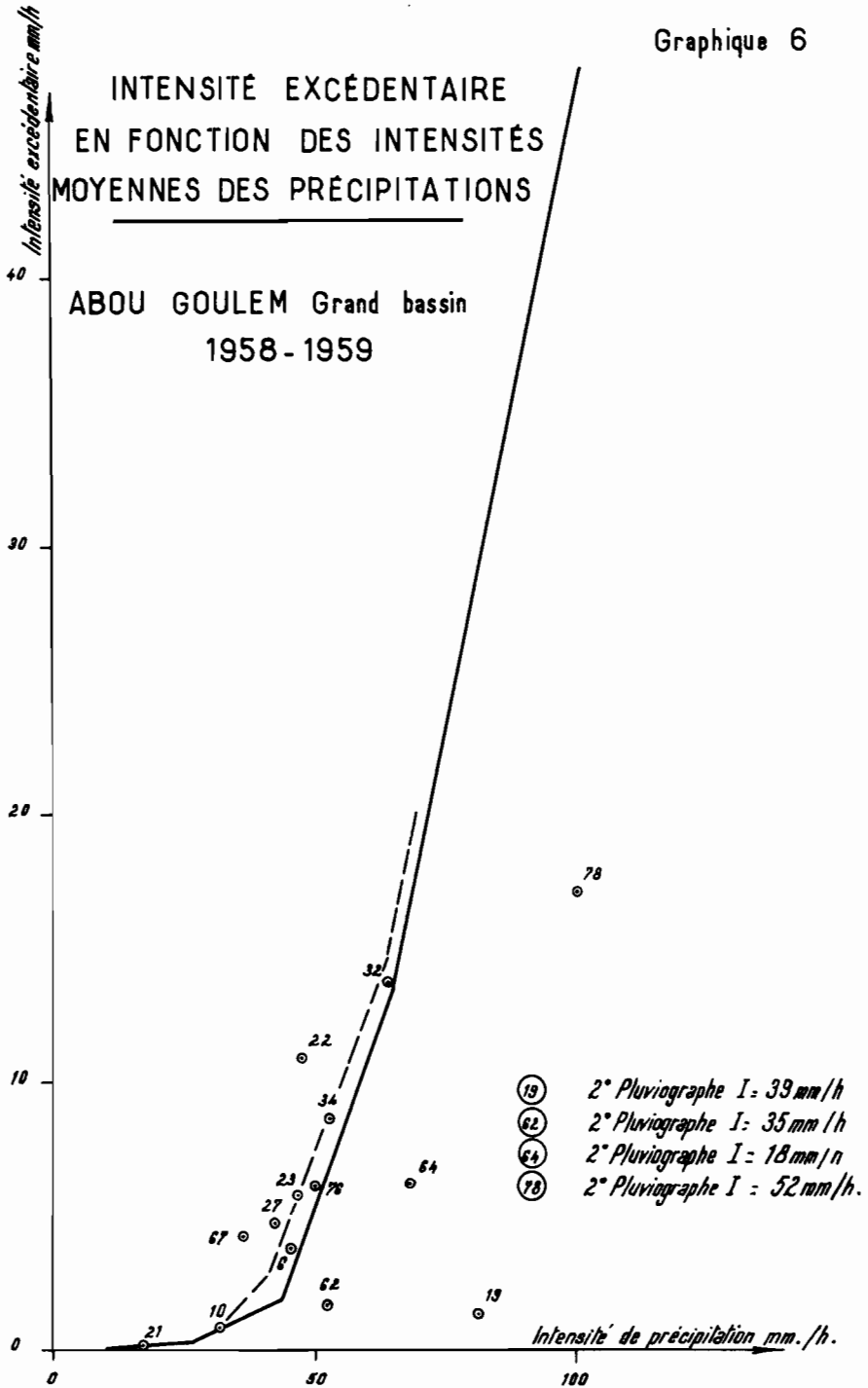
	n°	I	I exc	Observations	
BAGWA	1958	20	51	3,2	Les autres résultats de 1958 sont détruits
		47	30	7,7	
		46	48	10,6	
	1959	111	42	7,7	
		117	85	11,0	
		119	24,5	2,4	
		120	51,0	13,5	
		122	53,0	4,5	
		123	46,0	9,5	
	ABOU-GOULEM Grand bassin	1958	6	45,6	
10			32	0,8	
19			81,7	1,2	
21			17,3	0,2	
22			48	11,0	
23			48	5,8	
27			42,2	4,7	
32			64,0	13,7	
34			53,2	8,8	
35			85,8	15,3	
1959		62	52	1,64	
		64	68	6,16	
		67	36	4,14	
		76	50	6,06	
		78	100	17,1	
ABOU-GOULEM Petit bassin		1958	19	39,0	0,7
			22	45,7	4,7
	23		38,0	5,3	
	30		57,0	12,0	
	31		66,0	7,9	
	32		60,0	12,8	
	1959	35	20,4	0,9	
		62	35	1,85	
		64	17	6,35	
		72	32	0,95	
		76	42	4,25	

L'action de la végétation pourrait être chiffrée en cherchant son influence sur l'intensité de précipitation I exc et la précipitation limite de ruissellement  $P_0$ .

En résumé, la théorie se vérifie bien, surtout sur l'ouadi ABOU-GOULEM, qui comporte les observations les plus nombreuses.

La confrontation a cependant montré que les points se groupaient mieux sur des courbes parallèles aux courbes théoriques, et qu'il convenait donc de décaler celles-ci pour en tenir compte. Ce décalage est en abscisse de 10 mm/h à BAGWA et de 3 mm/h à ABOU-GOULEM. Il est légitime de faire cette opération : on conçoit en effet que la marge d'erreur des mesures de perméabilités des sols puisse être rendue responsable de ce décalage. La théorie donne l'allure générale de l'extrapolation, qu'il est possible de préciser par les mesures directes.

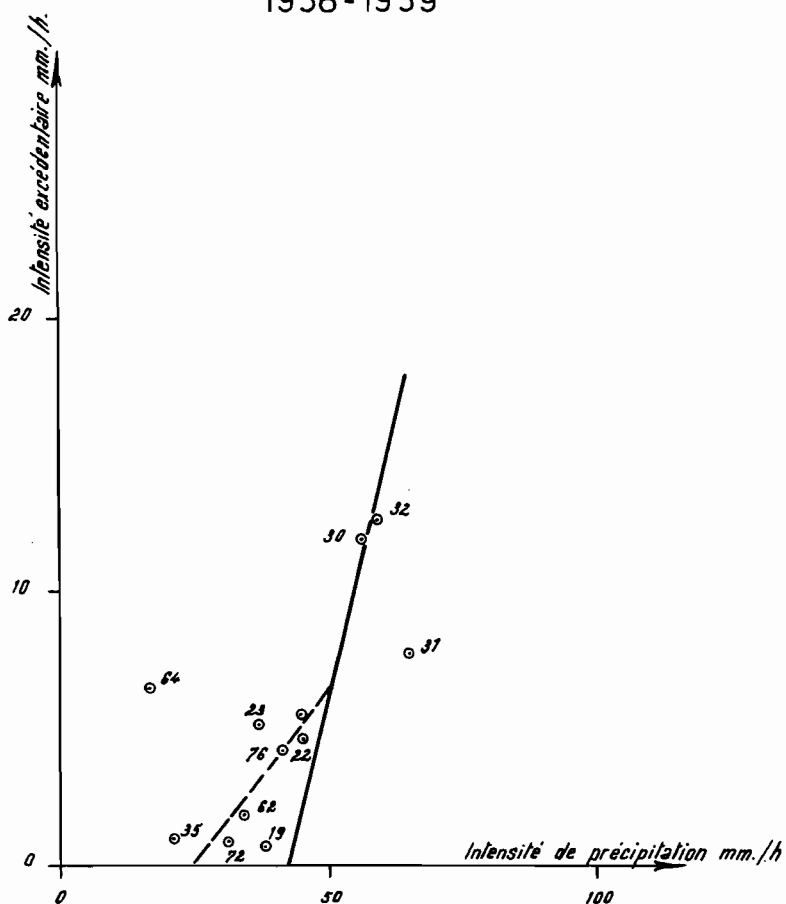
Graphique 6



Graphique 7

INTENSITÉ EXCÉDENTAIRE EN FONCTION  
DES INTENSITÉS MOYENNES DES PRÉCIPITATIONS

ABOU GOULEM Petit bassin  
1958-1959



Les fortes intensités sont très rares, ce qui, dans un sens, justifie a posteriori notre souci de rechercher une méthode d'extrapolation pour ces fortes valeurs

Ainsi, la confrontation montre que les perméabilités ont été sous-estimées à BAGWA et surestimées à ABOU-GOULEM. Après rectification de la courbe théorique, nous obtenons pour  $I = 100$  mm/h :

- à BAGWA  $I \text{ exc } 51,6 - 3,0 = 48,6$  mm/h
- à ABOU-GOULEM  $I \text{ exc } 46,5 + 1,0 = 47,5$  mm/h
- petit bassin ABOU-GOULEM inchangé = 50,3 mm/h

## CONCLUSION

L'équipe du TCHAD n'a commencé qu'après la campagne de saison des pluies 1958 à exploiter la notion de perméabilité des sols pour obtenir une détermination satisfaisante de l'intensité excédentaire et de la capacité d'infiltration. Pour le bassin d'ABOU-GOULEM, le résultat est encourageant, mais nous avons vu les limites et les difficultés de la méthode, ainsi que les problèmes qu'il convient d'examiner avec plus de soin pour en tirer le maximum.

Cette théorie fait bien toucher du doigt un fait essentiel : c'est qu'une faible superficie du bassin seulement est susceptible de ruisseler lors des précipitations courantes et que cette superficie est encore réduite en fin de saison des pluies par l'accroissement de la végétation. Ainsi, il faut examiner avec le plus grand soin les terrains imperméables ou peu perméables du bassin, dont la superficie détermine en fait le coefficient de ruissellement. On voit là toute la différence entre l'ouadi BAGWA et l'ouadi KAOUN, qui s'est remarquablement confirmée par les mesures d'écoulement.

Nous concluons que les coefficients de ruissellement  $K_{R_e}$  des bassins d'ABOU-GOULEM et de BAGWA atteignent 50 % pour les précipitations exceptionnelles, alors qu'ils ne dépassent pas 18 % pour le bassin beaucoup plus perméable de l'ouadi KAOUN.

La deuxième notion dont nous avons essayé de montrer l'importance est celle de "précipitation limite d'écoulement", précipitation nécessaire, en somme, pour obtenir un régime permanent du ruissellement sur le bassin.

Faire abstraction de cette notion c'est vouloir comparer des phénomènes dont les conditions initiales sont totalement différentes. Nous avons vu, en effet, que suivant l'état de sécheresse du bassin, il fallait de 0 à 100 % de la précipitation pour mettre le bassin en état de ruisseler et que, quelquefois, la précipitation était insuffisante pour parvenir à cet état. En effet, après une longue période de sécheresse  $P_0$  atteint 13 mm.

La méthode couramment utilisée jusqu'alors au Service hydrologique tendrait à ne comparer que des précipitations dont les conditions initiales de saturation sont les mêmes, mais cela restreint sensiblement le nombre déjà réduit d'averses exploitables. L'utilisation systématique de la notion des précipitations limites permet d'utiliser dans les meilleures conditions presque toutes les tornades observées pour l'interprétation.

Nous avons également exposé une méthode pour le calcul du coefficient d'abattement des pluies exceptionnelles, en tenant compte du centrage des averses observées.

Quelles que soient les méthodes employées pour la détermination des crues exceptionnelles, le nombre des facteurs entrant en jeu dans l'étude des bassins versants empêche l'existence d'une correspondance univoque entre deux caractéristiques particulières, car il n'est pas toujours justifié de faire abstraction des causes secondaires. Nous ne pensons pas non plus que les mêmes méthodes soient valables pour toutes les zones climatiques. C'est pourquoi l'hydrologue ne doit pas s'enfermer dans des règles formelles, mais rechercher des notions qui s'adaptent aux conditions locales, quelquefois avec succès.