

10290

COMITE INTER - ETATS D'ETUDES HYDRAULIQUES

Organisation pour la Mise en Veur  
du Fleuve Senegal (OMVS)  
Haut Commissariat  
Centre Régional de Documentation  
Saint - Louis

ESTIMATION DES DEBITS DE CRUES DECENNALES EN REGIME TROPICAL

par

C. AUVRAY

Décembre 1961

Adresse provisoire : 31, rue Marbeuf - PARIS VIIIe -

10290

Organisation pour la Mise en Valeur  
du Fleuve Sénégal (OMVS)  
Haut Commissariat  
Centre Régional de Documentation  
Saint-Louis

AVERTISSEMENT AU LECTEUR

La présente note est une première tentative d'une étude de synthèse qui vise à faciliter à l'ingénieur l'estimation des débits des cours d'eau d'Afrique Occidentale dont il a si grand besoin pour dimensionner ses ouvrages (ponts, barrages, etc...). La rédaction de cette note a été considérablement accélérée pour en permettre la diffusion à la Conférence de Monrovia de Janvier 1962 et nous espérons que le lecteur voudra bien excuser les imperfections qu'il pourra trouver dans cette édition. Celle-ci est destinée surtout à provoquer la discussion en vue d'une amélioration de nos connaissances et l'auteur appréciera grandement tous les commentaires et suggestions qui pourraient lui être adressés.

---

L'ESTIMATION DES DEBITS DE CRUE DECENNAUX EN HYDROLOGIE

TROPICALE

RESUME de la communication -

On commence à comprendre que dans de nombreux cas, la connaissance des caractéristiques hydrologiques d'un bassin est susceptible de justifier ou non, avant tout mouvement, une "idée" d'aménagement, puis intervient ensuite à la base même des options fondamentales du projeteur.

Entre ce dernier et l'hydrologue, le dialogue semble se circonscrire autour de la crue décennale, étant toujours commode, partant de là, d'estimer des crues de probabilité plus rares.

Dans la plupart des cas les observations réelles concernant le bassin donné sont inexistantes, mais en contre partie, la prévision de l'estimation demandée n'est pas trop sévère.

Comment répondre alors à la question posée ?

Les études effectuées, en particulier par l'ORSTOM depuis 10 ans en zone tropicale d'Afrique Occidentale et Centrale, permettent de répondre favorablement jusqu'à 800 ou 1.000 km<sup>2</sup> en régime sahélien et 300 ou 400 km<sup>2</sup> en régime de savane tropicale.

Au-dessus de 10.000 km<sup>2</sup>, des méthodes plus générales d'analogie avec des bassins mieux connus autorisent un certain optimisme.

Entre ces 2 limites, s'étend un "trou noir" créé par l'absence quasi totale d'observations quantitatives sur des bassins de cette catégorie. L'hydrologue se refusera donc dans ce cas à donner une réponse sans un délai de plusieurs années après l'installation d'une station de mesures.

Pourtant il apparaît dès maintenant perceptible que ce trou est d'envergure beaucoup plus modeste que ne l'était celui des petits bassins il y a une dizaine d'années.

.../...

## PREAMBULE

Les diseuses de bonne aventure expérimentées observent habituellement pendant très peu de temps leurs clients, utilisent quelques vieux "trucs" ressortant de la plus élémentaire psychologie et finissent tant bien que mal par leur prédire un avenir plus ou moins brillant.

Tout n'est pas systématiquement à rejeter et notre client peut, à la rigueur, en tirer profit.

S'il est sage, il n'y croit pas trop et sait mesurer les risques qu'il prend.

C'est un peu dans cette situation que se trouve l'hydrologue à qui l'on demande brusquement de déterminer les caractéristiques hydrologiques d'une rivière en lui remettant un tableau de quelques chiffres groupant les observations plus ou moins douteuses d'une échelle limnimétrique pendant un nombre restreint d'années consécutives.

Il ne dispose que d'un bref instantané de sa "cliente" et on lui propose de prévoir ce qui risque de lui arriver de fâcheux pendant la décennie ou même le siècle qui va suivre.

Tout d'abord, l'hydrologue s'accroche à son flair et observe attentivement la rivière. Il en apprend beaucoup de choses, notamment sur la versatilité de son caractère. Puis reprenant ses chiffres, il fait appel lui aussi à quelques "trucs" simples en vue d'en extraire des indications cachées.

Cette recherche ne l'abuse pas et à l'issue d'investigations laborieuses, il répugne toujours à couronner son oeuvre par un simple chiffre catégorique, éclatant de concision.

Il craint en effet, que la vertu magique du chiffre extirpé des ténèbres trompe l'utilisateur et le conduise soit à la catastrophe, soit à des dépenses exorbitantes.

Il le craint d'autant plus que les hésitations de sa pensée, les dosages subtils, les nombreux petits recoupements qui lui ont servi de guide, ne peuvent figurer clairement dans son mémoire explicatif.

Nous confessons humblement que les procédés d'estimation qui vont suivre, conduiront parfois à des chiffres erronés, mais nous pensons qu'en général, ils le seront par excès.

La complexité du phénomène crue et les nombreux cas particuliers susceptibles de se présenter, ne sont pas, au départ, une raison suffisante pour ne pas tenter de rechercher une "vérité moyenne".

..../...

### Le phénomène crue et sa récurrence

Le phénomène de la formation d'une crue, matérialisé par le tracé de l'hydrogramme (débite en fonction du temps), dépend de plusieurs facteurs conditionnels du régime.

D'abord des facteurs constants dans le temps :

- topographie du bassin (superficie, forme, pente)
- nature du sol

L'altitude, facteur essentiel dans les régions tempérées apparaît le plus souvent secondaire en régime tropical.

Puis des facteurs variables dans des proportions différentes d'une année sur l'autre :

- précipitations (hauteurs, intensités, fréquences)
- état de saturation du bassin
- couverture végétale
- évapotranspiration
- influence des nappes souterraines
- débordement dans les lits majeurs ou les cuvettes intérieures.

Il est facile de voir que ces facteurs sont liés physiquement les uns aux autres suivant des lois complexes. Ce ne sont donc pas des variables indépendantes. En outre, leurs actions propres sur les volumes écoulés s'effectuent parfois en sens contraire.

Si l'on essaie d'interpréter statistiquement le facteur pluie seul pendant une période de plusieurs décennies, on constate qu'il est en général possible d'ajuster une loi mathématique simple jusqu'à des fréquences de l'ordre de 1/100.

Si l'on se livre à la même expérience sur les chiffres de débits maximaux de crues d'une même station tropicale, on trouve encore une adaptation simple pour les valeurs inférieures à la médiane (crues faibles). Par contre, pour les valeurs supérieures à la médiane (crues abondantes), la distribution peut se compliquer sérieusement par l'apparition de dominantes secondaires ou d'un tassement des valeurs annuelles de crues vers les fréquences faibles.

En zone tropicale, le recul des observations en matière de pluviométrie est rarement supérieur à 25 ou 30 années. On peut donc, avec une loi d'ajustement simple, aller jusqu'aux fréquences centenaires

.../...

(dans les deux sens : abondance ou déficience). Mais a-t-on raisonnablement le droit d'aller jusqu'aux fréquences millénaires en conservant la même loi mathématique d'ajustement, c'est-à-dire en extrapolant ?

Nous nous garderons bien de donner un avis positif.

Qui peut en effet affirmer qu'il n'y a pas de modifications profondes des conditions climatiques à l'échelle du millénaire, soit en sens unique (réchauffement, continentalisme, assèchement progressif de vastes régions ou vice-versa), soit du genre cyclique, prenant ses origines dans des phénomènes astronomiques, solaires, etc...

Qui pourrait certifier que dans un millier d'années un échantillonnage statistique de phénomènes climatiques (pluies, température, évaporation) serait encore en concordance avec ceux que nous possédons actuellement ?

Or, nous avons vu que le passage des précipitations aux eaux superficielles met en jeu un certain nombre de paramètres liés à l'évolution du climat et davantage peut-être à l'action des hommes (migration des couvertures végétales, déboisement, reboisement, façons culturales, lutte contre l'érosion). Tous ces facteurs sont susceptibles d'amplifier ou d'amortir considérablement le paroxysme des crues.

Le phénomène hydrologique est donc infiniment plus complexe que le phénomène pluviométrique dont il est issu. S'appuyant sur quelques décennies d'observations hydrométriques, on peut toujours leur ajuster une loi statistique rigoureuse et s'avancer prudemment au-delà de l'échelle humaine, mais prétendre figer net les traits de la nature pendant plusieurs siècles.... n'est-ce pas trop ?

Les relevés supputés ou précis du Niger que nous possédons depuis 1871 attestent d'une succession troublante de périodes sèches et humides qui tromperont plusieurs fois la passion d'extrapolation humaine.

Jamais une année très déficitaire ne s'est trouvée au sein d'une période abondante et inversement. Quel schéma de probabilité pourrait interpréter un tel phénomène, tenant compte d'une contagion pondérable d'une année sur les autres ?

Etudiant ces observations, M. ROCHE (Monographie du Niger Supérieur) a montré que jusqu'à maintenant il était impossible de conclure à une modification des conditions climatiques. Mais s'appuyant sur des données historiques, il admet qu'une telle variation pourrait devenir nettement perceptible à l'échelle du millénaire.

En outre, l'hydrologue observateur se résout difficilement à

.../...

# PASSAGE DES INDICES PLUVIOMETRIQUES

## AUX MODULES

(Bassins supérieurs à 10.000 km<sup>2</sup>)

Modules

Module centenaire  $f = 1/100$

Zône des modules centennaires

Zône des modules décennaux

Module décennal  $f = 1/10$

Zône des modules annuels

Module annuel  $f = 1$

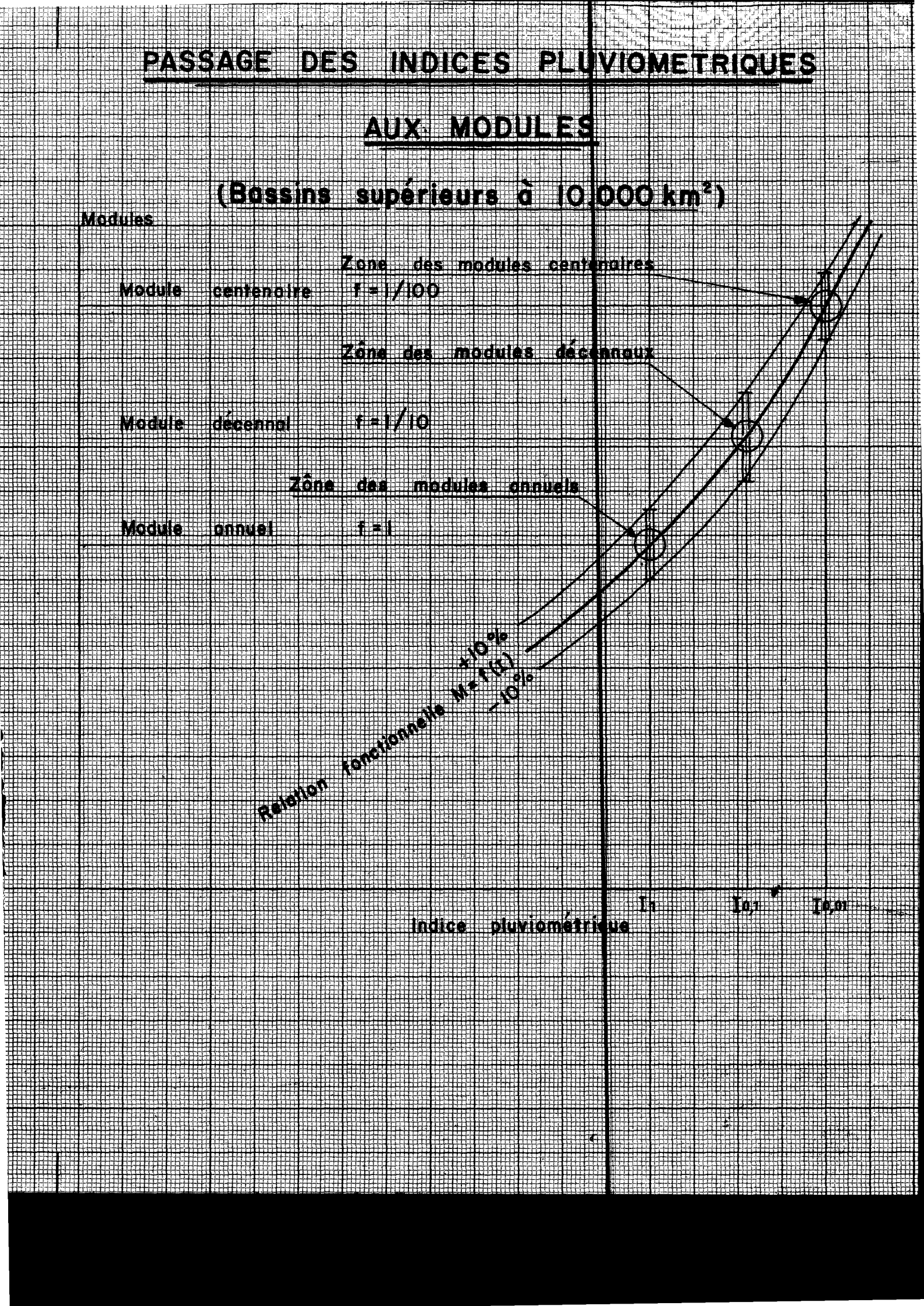
Relation fonctionnelle  $M = f(I)$   
+10%  
-10%

Indice pluviométrique

$I_1$

$I_{0.7}$

$I_{0.1}$





#### d. Détermination de la corrélation Modules-Débits de crue

La connaissance des modules n'est pas suffisante car les projeteurs ont besoin le plus souvent d'estimations portant sur les valeurs du débit de crues.

Le passage du module annuel au débit maximal annuel atteint par la crue introduit un facteur complémentaire qui joue maintenant le rôle important : la répartition des pluies pendant l'hivernage. La réitération de fortes précipitations intéressant une fraction appréciable du bassin saturé, conduit au paroxysme du phénomène crue d'autant plus sensible que la surface totale du bassin est modeste.

Faute de renseignements pondérateurs, la corrélation modules/crues que nous pouvons espérer établir tiendra en fait compte d'une répartition pluviométrique annuelle disons "moyenne", si nous prenons soin d'exercer une critique aigüe des répartitions pluviométriques correspondant aux quelques années pour lesquelles on possède des données hydrométriques de crues sûres.

Mais cette compensation a priori rassurante, susceptible de jouer dans les deux sens, a beaucoup de chances de ne pas avoir des effets symétriques. En effet, une crue présumée annuelle issue d'un module annuel pourrait être décennale si la répartition pluviométrique s'avérait nettement défavorable, mais une crue centenaire issue d'un module centenaire a beaucoup moins de chances de régresser dans le tableau des fréquences si la répartition devient exceptionnellement favorable ; cette probabilité est d'autant plus rare que les pluies sont abondantes et nombreuses tout au long d'une telle saison.

Il faut donc retenir que le procédé exposé ci-dessus semble entraîner une sous-estimation systématique des débits de crues de faible probabilité au dépassement.

L'expérience montre que la densité de répartition des modules suit correctement une loi de Gauss, alors que celle des débits de crues tropicales s'ajuste couramment à une loi de Gibrat-Gauss (loi dite normale pour les logarithmes des débits de crues réduits).

M. Roche propose donc la recherche d'une corrélation linéaire entre les modules et le logarithme des débits de crues. Ce procédé simple permet de passer des modules aux débits de crues par changement de variable.

M. Roche a appliqué cette méthode à la détermination statistique des débits de crues des affluents supérieurs du Niger en partant

.../...



de la pluviométrie du bassin et des données hydrométriques relatives à la station de Koulikoro (de 1907 à 1958) :

Voyons maintenant d'autres procédés utilisés parfois, en attirant l'attention sur les dangers qu'ils peuvent entraîner.

Il ne peut être raisonnablement question de rechercher d'emblée l'ajustement d'une quelconque loi statistique de répartition lorsqu'on ne dispose que d'une dizaine de valeurs.

Formule de Fuller - On rencontre cependant l'application fréquente d'une formule de Fuller de la forme suivante :

$$Q_T = \bar{Q} (1 + K \log T)$$

$\bar{Q}$  étant le débit moyen calculé d'après les quelques valeurs connues

$Q_T$  étant le débit probable au moins 1 fois dans une période de récurrence de T années.

K étant donné, cette formule fort générale détermine :

$$\frac{Q_{10}}{\bar{Q}} \quad \text{et} \quad \frac{Q_{100}}{\bar{Q}}$$

Ces rapports ne dépendent que de  $\bar{Q}$  et de K.

Une telle formule peut rendre des services à la rigueur dans une région hydrologique homogène à condition d'en avoir par expérience vérifié l'emploi. Sous cette forme réduite (en y ajoutant d'autres paramètres, on arrive à la loi de probabilité de Goudrich) la pratique a montré qu'elle s'applique assez mal aux régimes tropicaux.

C'est donc pure fantaisie de l'employer en partant de quelques années d'observations. Cette remarque s'applique aux autres formules très générales du même genre.

Déficit d'écoulement - La formule de Turc permet d'obtenir un ordre de grandeur du déficit d'écoulement D en partant de la pluviométrie annuelle P et de la température moyenne annuelle de l'air t :

$$D = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

$$L = 300 + 25 t + 0,05 t^2$$

.../...

La connaissance du déficit d'écoulement entraîne celle de la lame d'eau annuelle écoulée, donc du module. Des essais d'application de cette formule en pays tropicaux (J. Rodier et M. Roche - Alger 1954) ont montré que, malgré une bonne concordance générale, la dispersion reste grande au-dessous de 700 mm, valeur pour laquelle l'écart moyen est supérieur à 10 %. Cette incertitude est trop élevée pour la recherche des modules de bassins dont le coefficient d'écoulement varie de 15 à 30 %.

De même que de nombreuses autres formules empiriques liant les modules ou les débits de crues au paramètre climatique (pluviométrie, évapotranspiration potentielle, température moyenne, etc...) dont on peut toujours ajuster les coefficients à son gré, la formule de TURC peut rendre des services pour des recherches de climatologie et d'hydrologie générales, ou encore aux fins d'établir des corrélations visant à l'estimation de modules en s'appuyant solidement sur des valeurs effectivement mesurées. Dans les autres cas lorsque la précision requise par le projecteur devient plus rigoureuse et que les données mesurées sont nettement insuffisantes, ces formules qui ne tiennent pas compte des facteurs physiques du bassin risquent d'occasionner de graves mécomptes.

Les récentes études du Niger supérieur sont très intéressantes car elles donnent des éléments de comparaison entre les différentes régions du Haut Bassin. Le bassin supérieur est divisé en groupes comprenant un ou plusieurs affluents présentant des affinités. Chaque groupe admet une loi de variation de la crue décennale spécifique en fonction de la superficie du bassin. Entre 10.000 et 100.000 km<sup>2</sup> on constate que les différentes courbes sont sensiblement des droites de pentes négatives variables suivant l'aspect physique des bassins, et s'échelonnant suivant des pluviométries décroissantes, sans qu'il y ait pour cela une corrélation très rigoureuse.

On remarque qu'entre le Niger à Kouroussa et le Sankarani à Mandiana (surfaces et pluviométrie comparables), la crue spécifique décennale tombe de 80 à 57. Cet écart important s'explique par la pente plus faible du Sankarani surtout pendant les derniers 200 km du parcours, et aussi sans aucun doute par le fait que la pluviométrie d'un bout à l'autre du bassin du Sankarani est plus homogène (pluviométries extrêmes : 1.750 et 1.600) alors que ces mêmes valeurs sont 2.100 et 1.500 pour le bassin du Niger à Kouroussa.

#### Orientation générale des bassins -

Si nous supposons 2 bassins, de forme, de nature, de superficie égale. (entre 10 et 20.000 km<sup>2</sup> par exemple), également arrosés en moyenne

.../...

	Surface en km <sup>2</sup>	Pluviom. moyenne relevée sur 35 années en mm	Pluviométries extrêmes		q <sub>10</sub> <sup>1</sup> /s/km <sup>2</sup> Débit spé- cifique décennal
			La plus forte	La plus faible	
Niandan à Baro	12.600	1.970	2.200	1.600	110
Milo à Kankan	9.900	1.940	2.250	1.700	110
Niger à Faranah	3.180	1.905	2.100	1.640	95
Niger à Kouroussa	18.000	1.740	2.100	1.500	80
Sankarani à Mèdiana	21.900	1.670	1.750	1.600	57
Baoulé à Bougouni	15.700	1.500	1.640	1.320	57
Bagoë à Pankourou	31.800	1.400	1.500	1.310	44
Tinkisso à Tinkisso	6.400	1.565	1.700	1.420	55

.../...

sur l'ensemble, l'un allongé parallèlement aux isohyètes, l'autre au contraire perpendiculairement ; le classement suivant indiquera vraisemblablement une croissance des débits de crues décennaux.

- 1 - Bassin perpendiculaire aux isohyètes, haut bassin tourné vers les faibles isohyètes
- 2 - Bassin parallèle aux isohyètes
- 3 - Bassin perpendiculaire aux isohyètes, haut bassin tourné vers les fortes isohyètes.

Notons également la très faible valeur obtenue pour le Tinkisso à Tinkisso ( $55 \text{ l/s/km}^2$ ) malgré sa pente très supérieure à celle du Baoulé et la surface relativement petite de son bassin. On peut y trouver une explication dans l'étirement de son haut bassin sous les isohyètes les plus élevées.

En conclusion, mûri de ces réflexions, l'hydrologue soucieux de rechercher les analogies avec un bassin comparable mieux connu prêterait attention aux facteurs suivants :

1°. L'indice de pluviométrie moyenne annuelle sur l'ensemble du bassin peut ne pas suffire, il faut tenir compte de l'écart entre les extrêmes pluviométriques d'un bout à l'autre. Il est peut-être possible de trouver de meilleures corrélations en majorant, par exemple, pour le calcul d'un indice pluviométrique, les pluies qui arrosent les parties les plus hautes du bassin (zones à fortes pentes);

2°. Tenir compte de la forme du bassin et se méfier des étirements disproportionnés dans les parties supérieures.

3°. Attacher de l'importance à la position de l'axe apparent du bassin par rapport à la direction des isohyètes, surtout si les parties hautes sont sous-arrosées (cas des Volta).

4°. Etudier comparativement les allures des profils en long ainsi que les couvertures lithologiques et pédologiques du bassin donné et du bassin de comparaison.

5°. Conserver enfin présents à l'esprit ceux de ces facteurs qui risquent de jouer dans le sens de la non sécurité, c'est-à-dire vers l'aggravation du phénomène estimé.

.../...

### Conclusion

L'hydrologie des grands bassins est sans doute plus facile parce qu'on y observe les phénomènes de plus haut. Les facteurs du régime qu'elle met en cause ont effectivement une tendance à s'ordonner, mais ils demeurent étroitement liés les uns aux autres. Leur action propre et le caractère de leur inter-dépendance sont encore pratiquement inconnus.

On a trop pris l'habitude, même en régime tropical, de considérer la pluviométrie comme le facteur unique. Certes, il est essentiel, mais l'influence de tous les autres réunis crève les yeux si on veut bien comparer les régimes de bassins connus en zones climatiques pourtant homogènes.

En outre, sur les périodes millénaires et même séculaires rien ne prouve que certains de ces facteurs n'évoluent pas lentement dans un sens ou dans un autre, et que d'autres ne sont pas l'objet de tendances cycliques non décelables à l'échelle humaine.

Les statisticiens préfèrent, de beaucoup, avoir affaire à des variables réputées indépendantes et à des conditions organiques irrémédiablement fixées dans le temps.

C'est pourquoi, nous profitons de cette occasion pour souhaiter que l'hydrologie demeure une école d'empirisme.

De nombreuses petites lueurs allumées par ci par là tout au long du parcours grâce au bon sens et à des recoupements logiques nous guideront mieux que "l'obscur clarté qui tombe" des théories prématurées.

.../...

## CHAPITRE II

### PETITS BASSINS (inférieurs à 50 km<sup>2</sup>)

C'est dans ce domaine que les progrès ont été les plus grands. Depuis 1954, l'ORSTOM, sur la demande de l'ex Service Fédéral de l'Hydraulique a utilisé une grande partie de ses hydrologues pour l'étude de nombreux petits bassins disséminés en Afrique Occidentale. Les résultats obtenus sont à la mesure de la persévérance dans l'effort entrepris en vue de mener à bien ce programme ambitieux. Effort du personnel d'exécution sur le terrain, contraint de séjourner isolément pendant toute la durée de l'hivernage en particulier sous les rigueurs du climat subdésertique, enfin, effort de financement parfois très lourd et décevant lorsqu'une saison des pluies indigente n'apportait pas d'éléments nouveaux.

L'ORSTOM poursuit actuellement des études semblables, de sa propre initiative ou pour le compte de Services Techniques nationaux (Agriculture - Génie Rural) désireux d'obtenir des éléments de calculs en vue de réaliser leur programme d'aménagements hydro-agricoles.

Ces aménagements sont en général rustiques ; le projeteur se contente d'une précision moyenne (approximation de 50 % sur la crue décennale) et compte tenu du coût relativement bas de l'ouvrage ne répugne pas trop à consentir les majorations indispensables aux conditions de sécurité. De plus il n'exige pas des chiffres de débits de probabilité exceptionnelle. Une bonne estimation de la crue décennale suffit, quitte à lui appliquer un coefficient conventionnel pour approcher une fréquence cinquantenaire ou centenaire.

A notre avis, la recherche d'une crue centenaire sur un tel bassin n'aurait pas, dans l'état actuel des choses, beaucoup de sens : nous connaissons à peine les caractéristiques d'une averse tropicale centenaire (20 années de recul moyen dans les observations pluviométriques journalières, et beaucoup moins en ce qui concerne les archives pluviographiques) et nous ignorons totalement les périodes de récurrence susceptibles de s'appliquer aux autres facteurs importants du régime (saturation du bassin, concomitance de plusieurs averses, couverture végétale). Par exemple, une simple averse décennale s'abattant sur un bassin exceptionnellement saturé peut engendrer une crue de probabilité beaucoup plus rare.

Nous définirons donc la crue décennale comme le résultat de l'averse décennale sur un bassin répondant à des conditions moyennes de ruissellement.

.../...

# GRAPHIQUE N°1

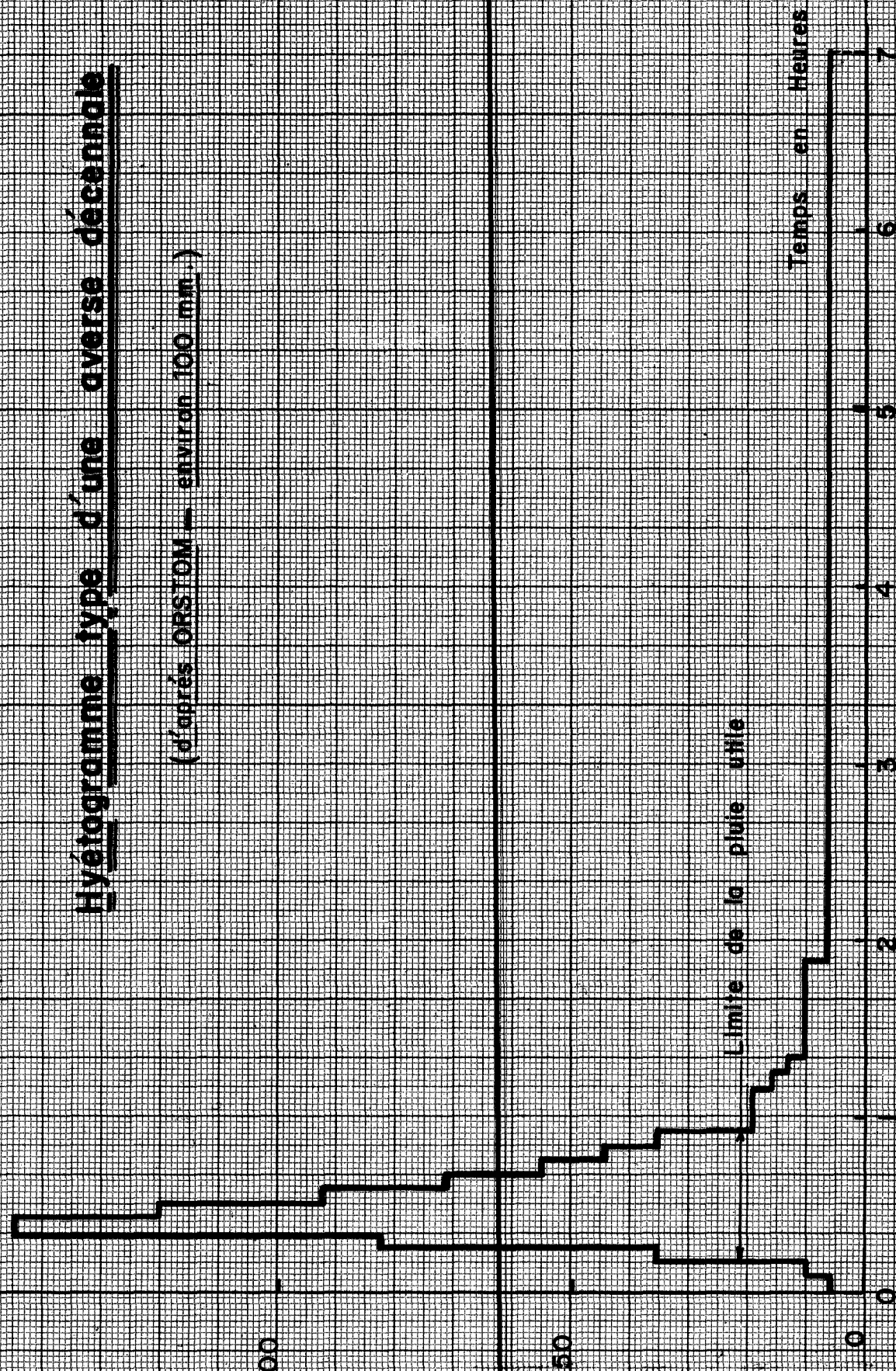
## PLUVIOMETRIE ANNUELLE (environ 400mm.)

Intensité en mm/Heures

Régime sahélien

## Hyétogramme type d'une averse décennale

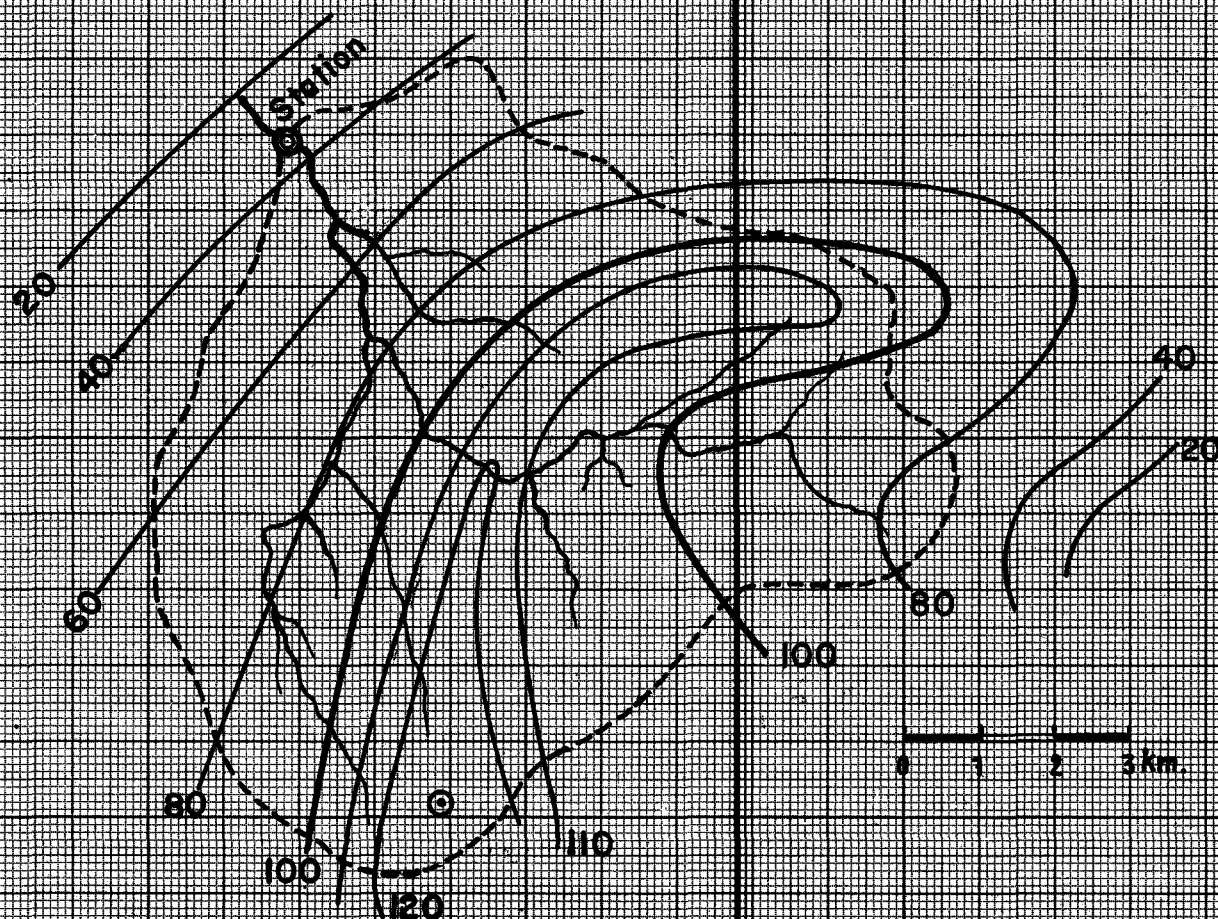
(d'après ORSTOM — environ 100 mm.)





RÉGIME SAHÉLIEN

FORME DES ISOHYETES



AYERSE DECENNALE TYPE SUR UN BASSIN DE 70 Km<sup>2</sup>  
(d'après ORSTOM)

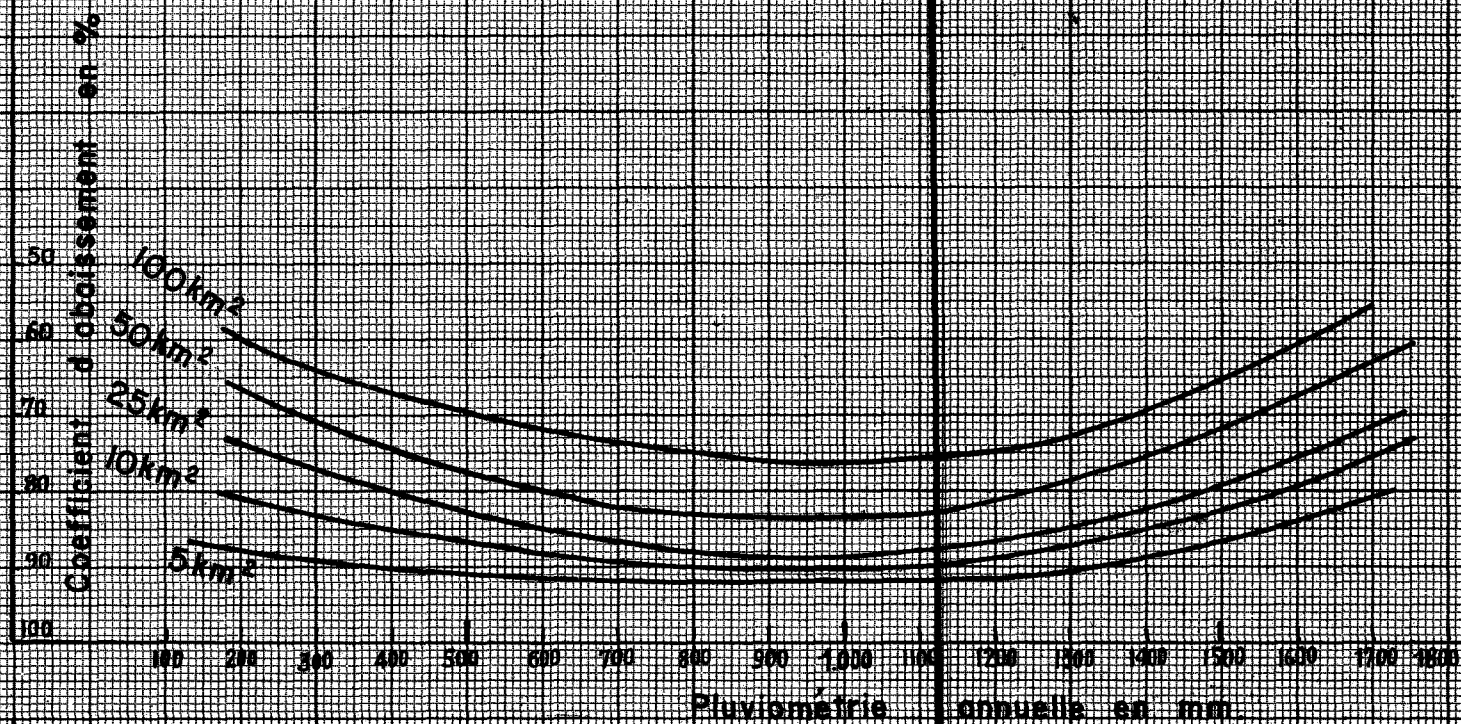
Hauteur maximale ponctuelle : 124 mm.

Hauteur moyenne sur le bassin : 91 mm.

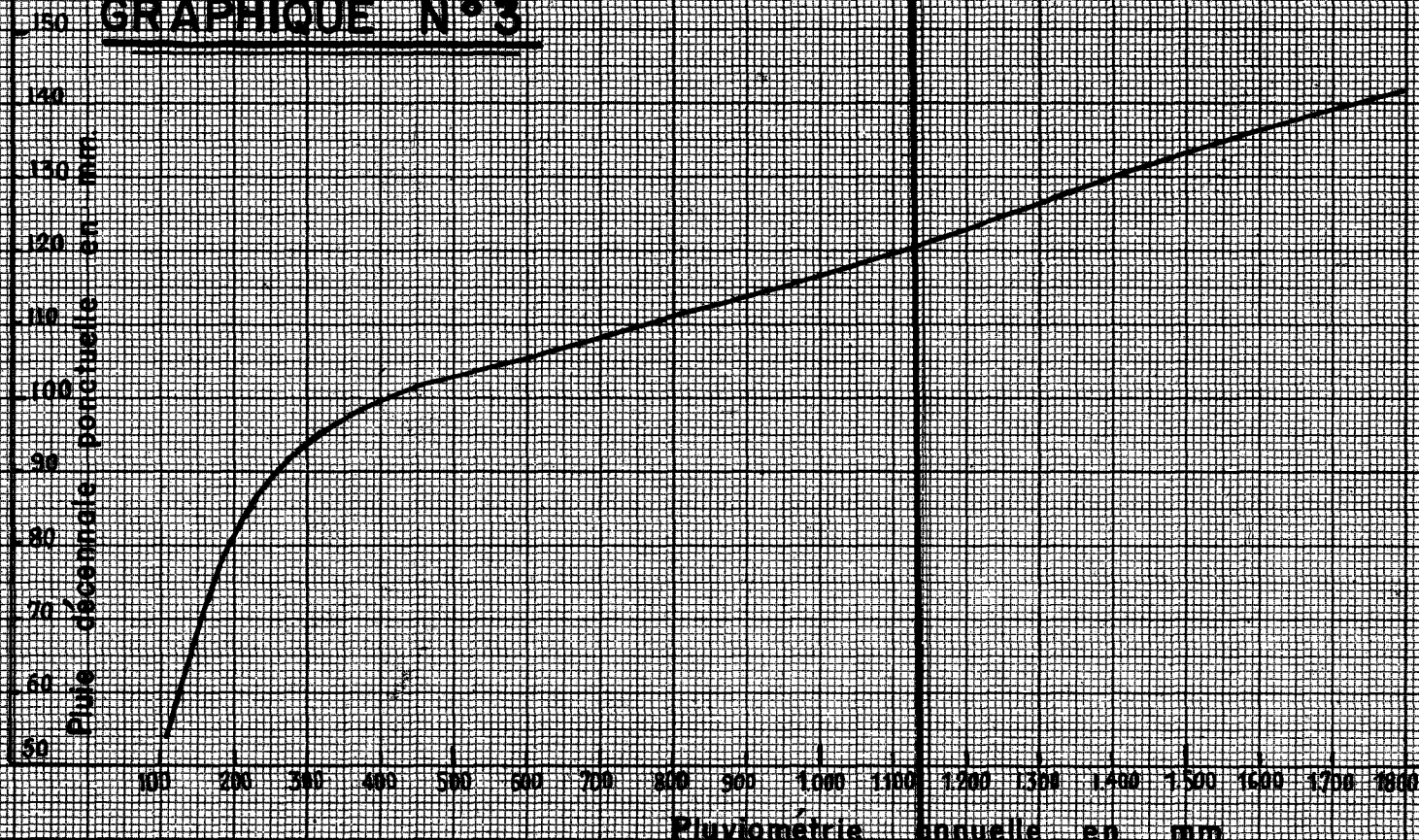
Centre du "chapeau" : 



## GRAPHIQUE N°4

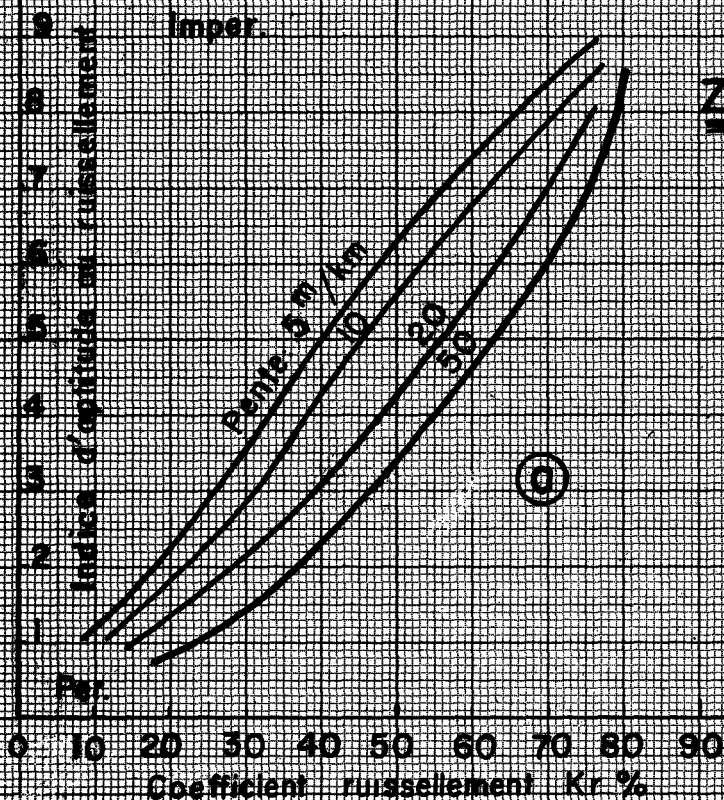


## GRAPHIQUE N°3





# **GRAPHIQUE N°5**

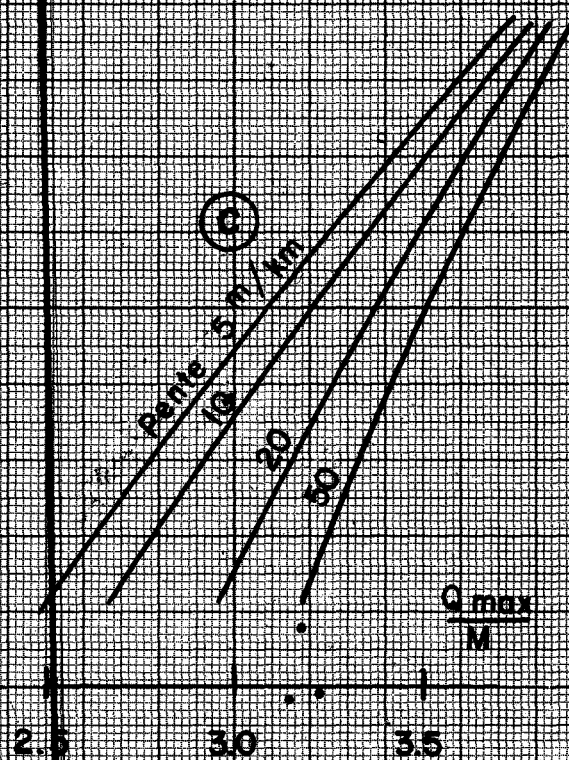
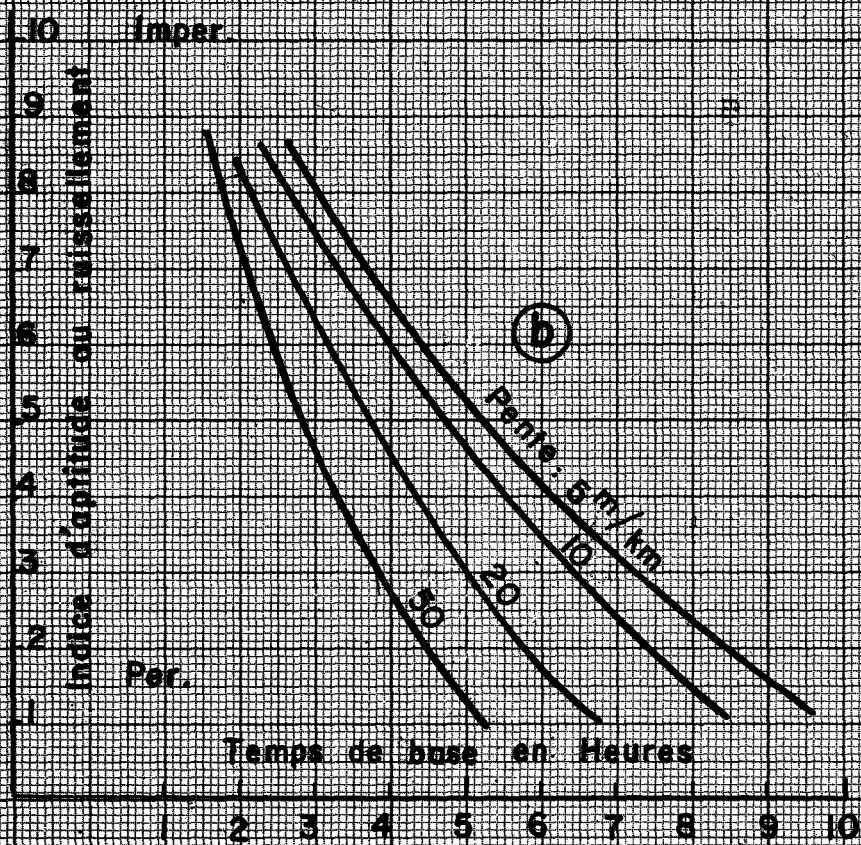


## **ZONE SUBDESERTIQUE ET SAHELIENNE**

**100 mm < H < 700 mm**

**Surface: 5 km<sup>2</sup>**

**PENTE en m/km**





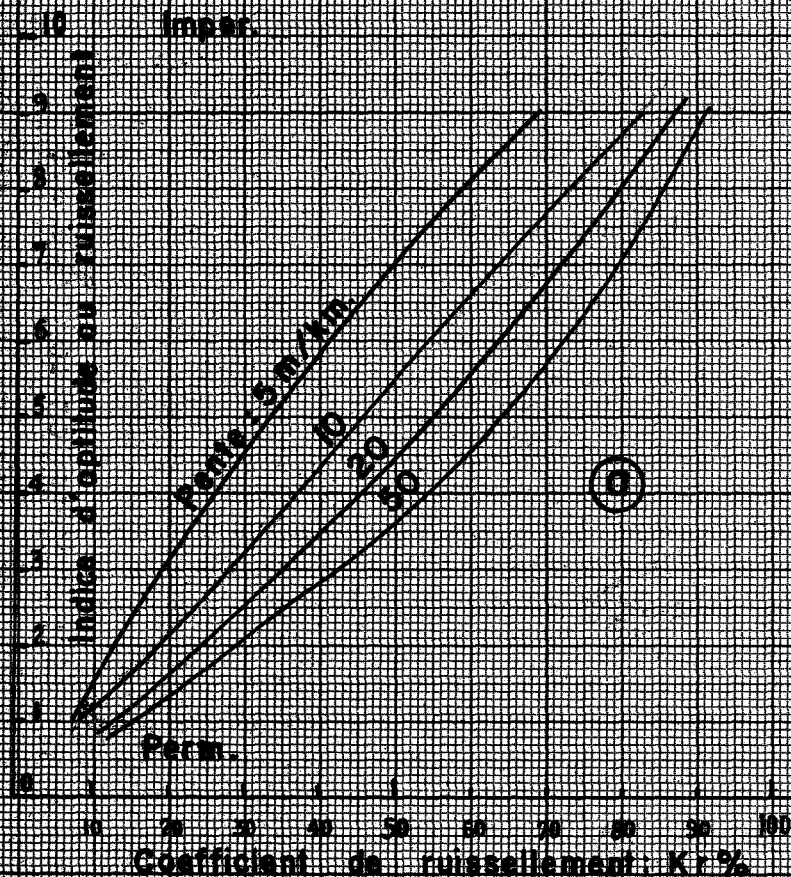
# GRAPHIQUE N° 6

## ZONE SUBDESERTIQUE

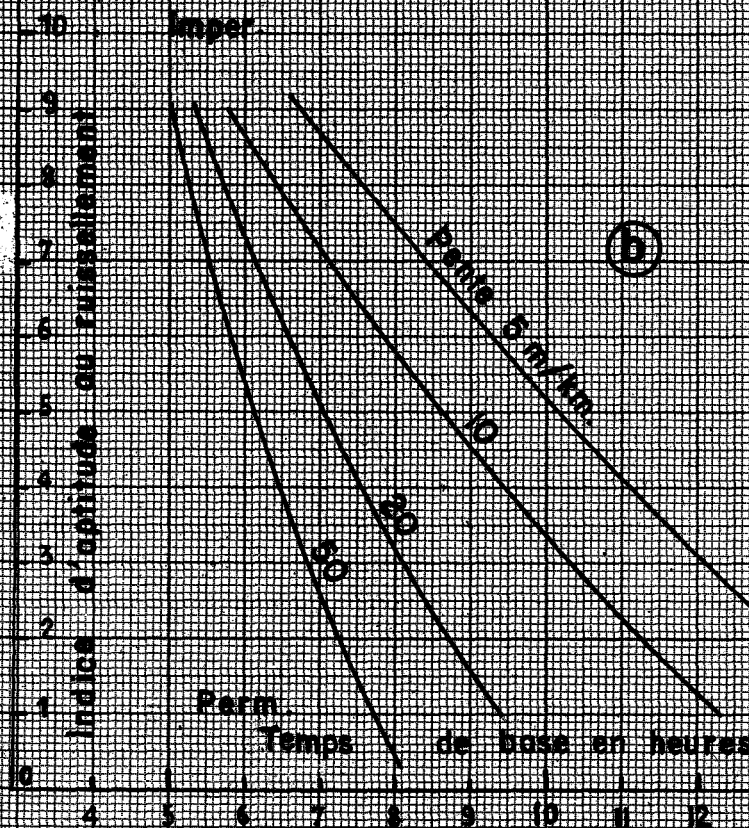
### ETI SAHELIEUNE -

100mm < H < 700mm.

Surface : 25 km<sup>2</sup>



PENTE : en m/km.



Pente : 5 m/km  
10  
20  
50

O max.

2

2,5

3

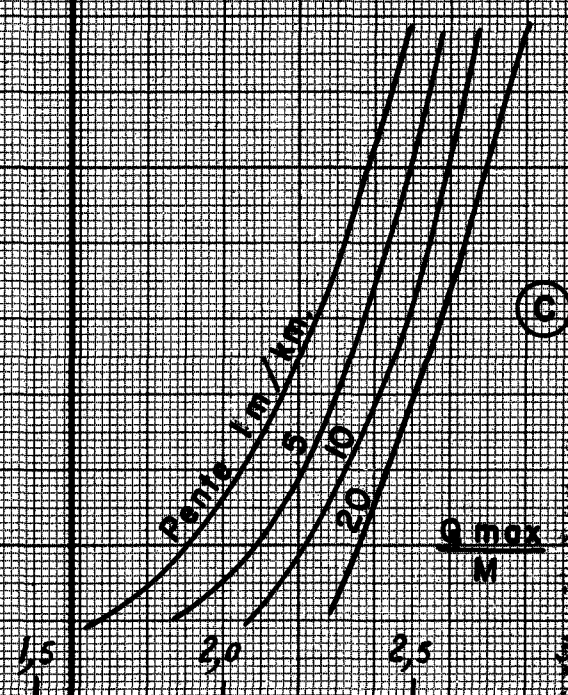
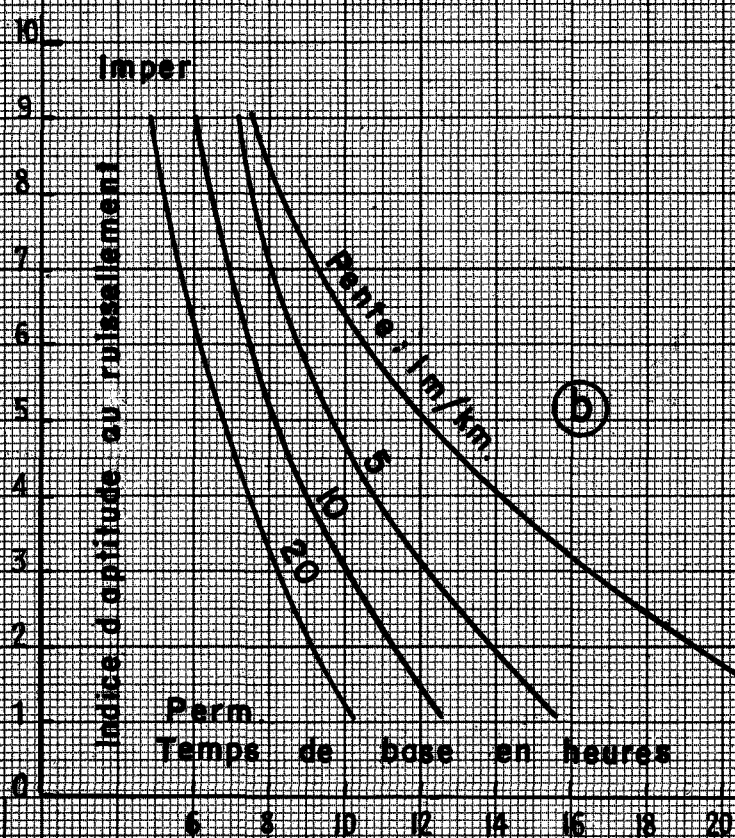
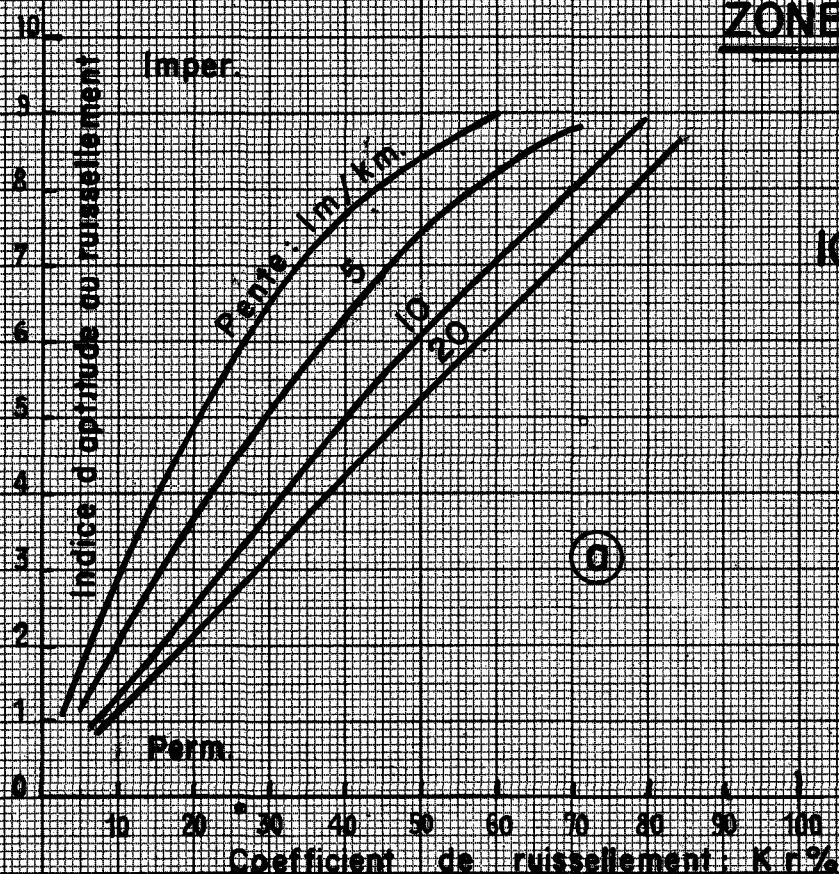
# GRAPHIQUE N°7

## ZONE SUBDESERTIQUE ET

### SAHELIENNE

100 mm < H < 700 mm.

Surface : 50 km<sup>2</sup>





Il y a là évidemment une certaine incertitude mais une option méthodique caractérisant le bassin est obligatoire à un moment ou à un autre. Les abaques (a) donnent le coefficient de ruissellement  $K_r$  % applicable à l'averse décennale.

Les abaques "b" donnent le temps de ruissellement probable comprenant le temps de montée (Rise) jusqu'au débit maximal et le temps de descente jusqu'au raccordement avec le débit hypodermique (nous avons estimé qu'il en était ainsi lorsque le débit instantané devenait inférieur à 5 % du débit maximal). C'est une donnée physique du bassin dépendant également pour une surface donnée de l'aptitude au ruissellement et de la pente.

Temps de ruissellement est un terme impropre, il faudrait dire temps d'écoulement des eaux ruisselées ou temps de base.

A ce point, il est aisé de calculer le volume de ruissellement consécutif à l'averse et son module  $M$  (débit moyen d'écoulement pendant le temps de base).

Les abaques "c" donnent le rapport  $Q_{max}/M$  dépendant de la forme de l'hydrogramme. Il permet de calculer le débit du paroxysme de la crue connaissant son module  $M$  (voir figure).

#### Remarque 1 - Détermination de la pente -

La pente est exprimée en mètres par kilomètre le long du cours principal, c'est-à-dire celui dont le développement en tête est le plus important. La cote inférieure est celle de la station, la cote supérieure est l'altitude moyenne estimée de la ligne de crête limitant les branches les plus importantes du haut bassin.

Dans le cas d'une falaise de bordure ou d'un piton intérieur très ennoyé au pied, l'altitude en sera réduite au jugé ou même supprimée. D'une façon générale, il conviendra de se méfier des brutales ruptures de pentes.

#### Remarque 2 - Aspect théorique de la méthode -

L'expérience a montré que pour des averses d'intensités variables et dont la durée reste inférieure à une valeur limite dépendant du bassin, les différents hydrogrammes obtenus suivant les valeurs de l'intensité de l'averse ont des formes affines : la distribution dans le temps des volumes ruisselés est telle que ces volumes, dans chaque intervalle de temps, restent proportionnels sensiblement au rapport des intensités.

.../...

$Q\text{ m}^3/\text{s}$

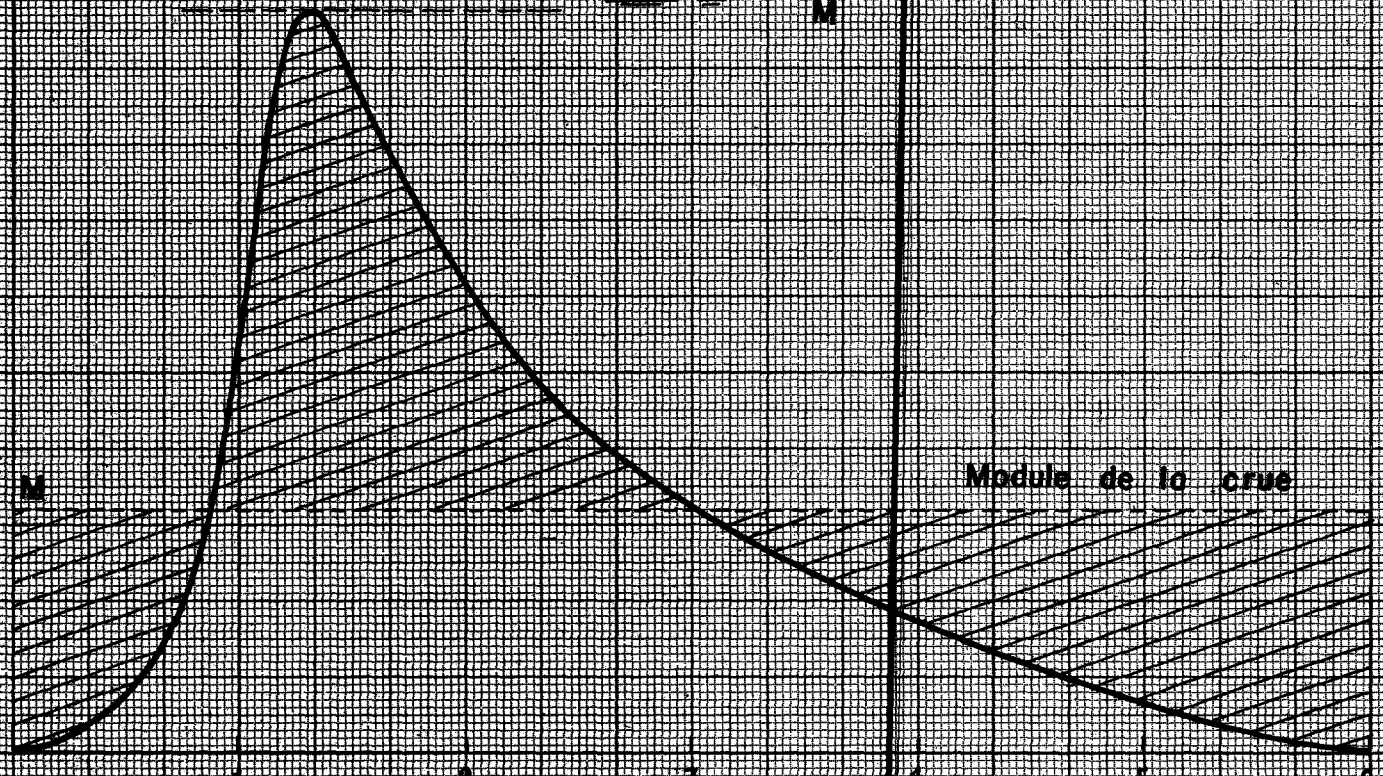
$Q_{\text{max}}$

Exemple:  $\frac{Q_{\text{max}}}{M} = 2,9$

M

Module de la crue

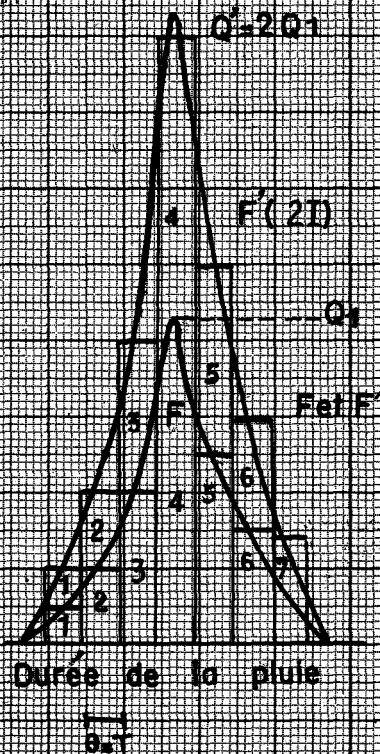
Temps en heures





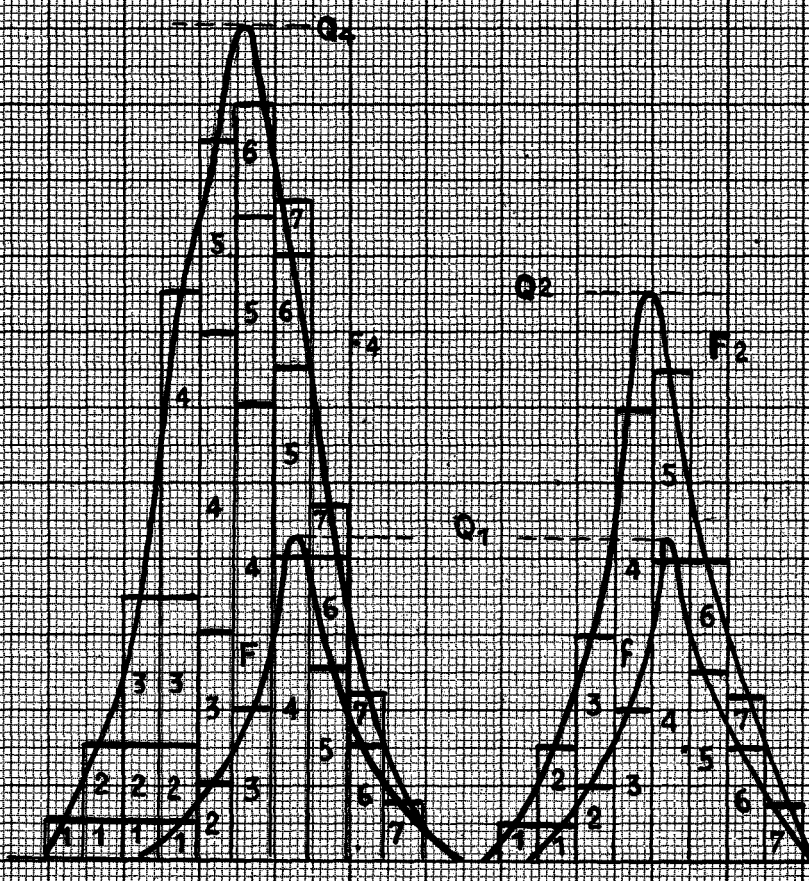
Durée de pluie utile -

Loi D'AFFINITE

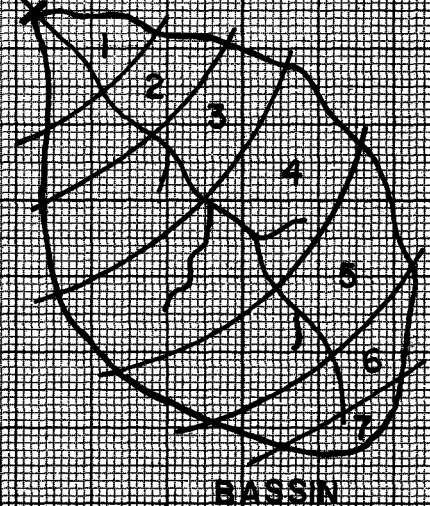


$\theta$ : Durée de l'averse

$L$ : Temps de concentration de chaque parcelle



A (STATION)



BASSIN

$\theta = 4T$

$\theta = 2T$

( exemple : l'hydrogramme  $F'$  obtenu pour  $I$  doublé ).

Qu'advient-il si la durée de la pluie augmente ?

Si  $\theta = 2 T$ , nous obtiendrons l'hydrogramme  $F_2$

Si  $\theta = 4 T$ , nous obtiendrons l'hydrogramme  $F_4$ .

Pour  $F_2$  : le débit maximal est  $Q_2$ , le volume ruisselé est  $2V$

Pour  $F_4$  : le débit maximal est  $Q_4$ , le volume ruisselé est  $4V$

La loi d'affinité entre les hydrogrammes est-elle toujours valable ? Autrement dit, les débits maximaux restent-ils dans le rapport des volumes ruisselés ?

Nous voyons bien qu'entre  $F'$  ( $T$  et  $2 I$ ) et  $F_2$  ( $2T$  et  $I$ ) l'erreur ne serait pas considérable. En effet,  $Q'$  et  $Q_2$  sont sensiblement égaux à  $2Q_1$ .

Par contre, entre  $F''$  ( $T$  et  $4 I$ ) et  $F_4$  ( $4T$  et  $I$ ) elle le serait certainement et entraînerait une surestimation de plus de 50 % dans la détermination de  $Q_4$  en partant de  $F$ , du simple fait de l'application de la méthode des hydrogrammes unitaires. Nous voyons, en effet, sur le graphique que  $Q_4 \neq 2,5 Q_1$  au lieu de  $4Q_1$  obtenus en appliquant la loi d'affinité.

Dans notre exemple, la parcelle 4 étant la mieux alimentée, c'est celle qui donnera le maximum de la crue et le temps de montée (rise) de l'hydrogramme sera voisin de  $4 T$ , par contre, dans le même exemple, nous avons vu que la durée limite de précipitation au delà de laquelle la loi d'affinité des hydrogrammes n'est plus valable est de l'ordre de  $2T$ . D'où, cette loi empirique connue des techniciens hydrologues : l'extension de la méthode des hydrogrammes unitaires à des pluies non unitaires est possible tant que la durée de la pluie utile est inférieure à la moitié du temps de montée. De toutes manières, l'approximation par excès joue dans le sens de la sécurité.

Revenons à notre pluie décennale type ; la durée de la fraction utile est de l'ordre de 30 à 45 minutes. La méthode est donc limitée à des bassins dont le temps de montée est supérieur à une heure. L'expérience montre que c'est le cas pour des bassins moyens inférieurs à  $50 \text{ km}^2$ . Au-dessous de cette limite l'hydrogramme réel donnera un  $Q$  max inférieur à celui dérivé de la méthode des hydrogrammes unitaires.

Nous rappelons que les graphiques n° 5, 6 et 7 sont construits pour la pluie décennale. En ce qui concerne le graphique,  $50 \text{ km}^2$ , rien ne



# GRAPHIQUE N° 9

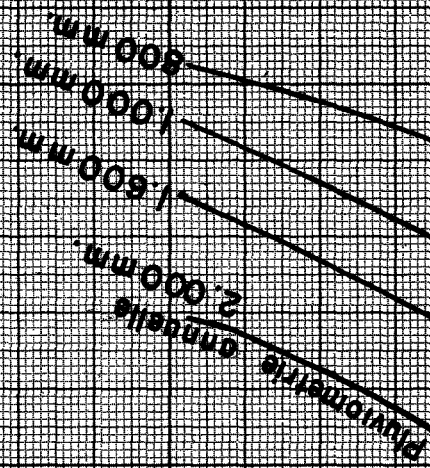
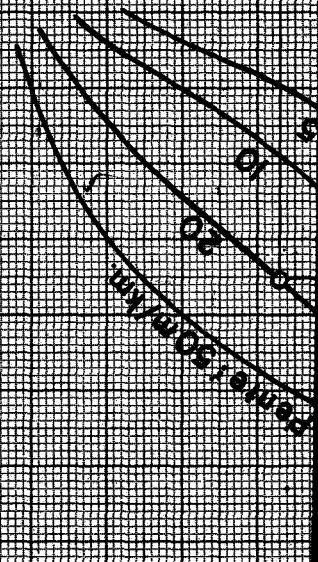
## ZONE TROPICALE DE SAVANE

Tropical et tropical de transition

700 mm. < H < 1800 mm.

Surface: 25 km<sup>2</sup>

PENTE en m/km



Perm. Imperm.

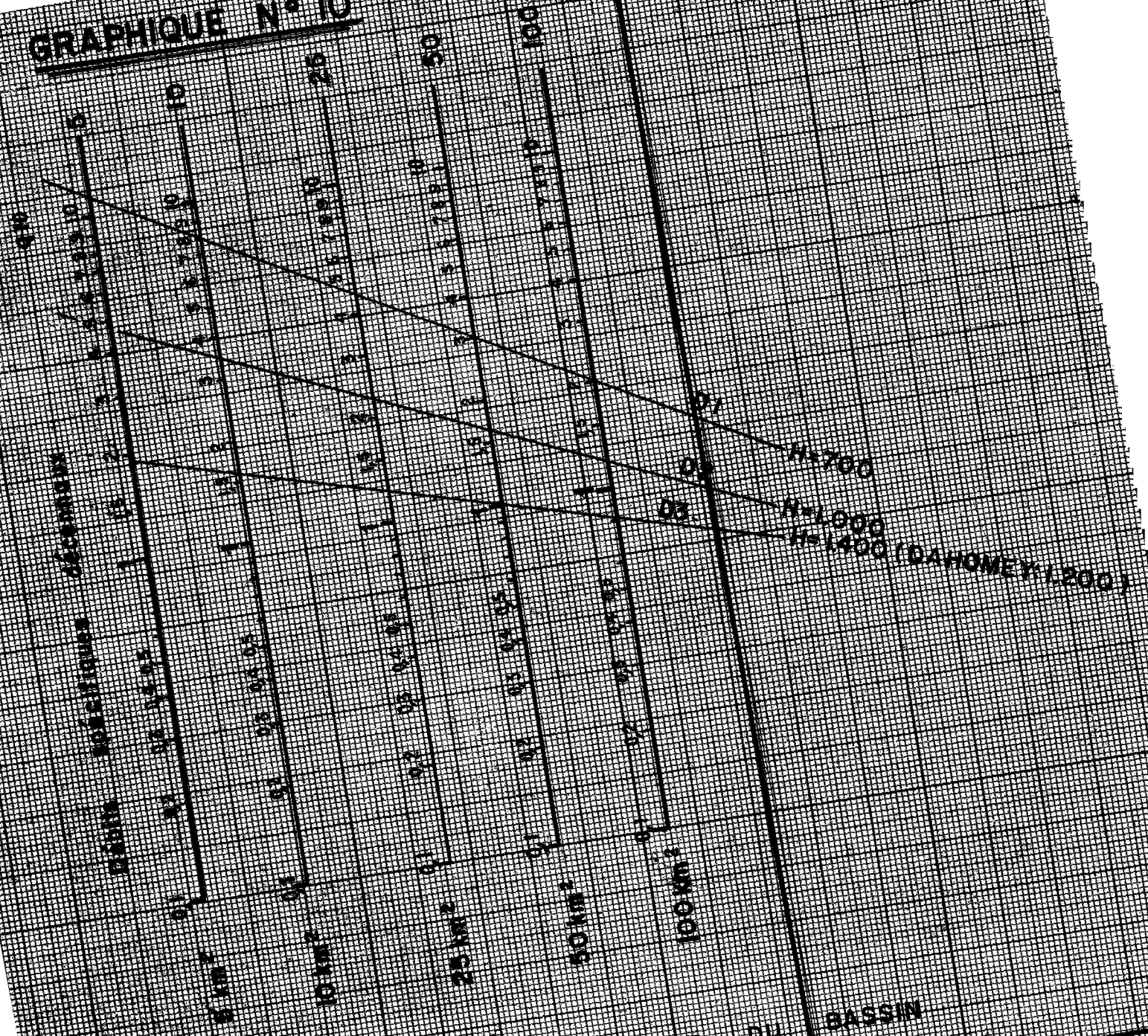
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 1 1,5 2 3 4 5 6 7 8 9

Débit spécifique en m<sup>3</sup>/s/km<sup>2</sup>

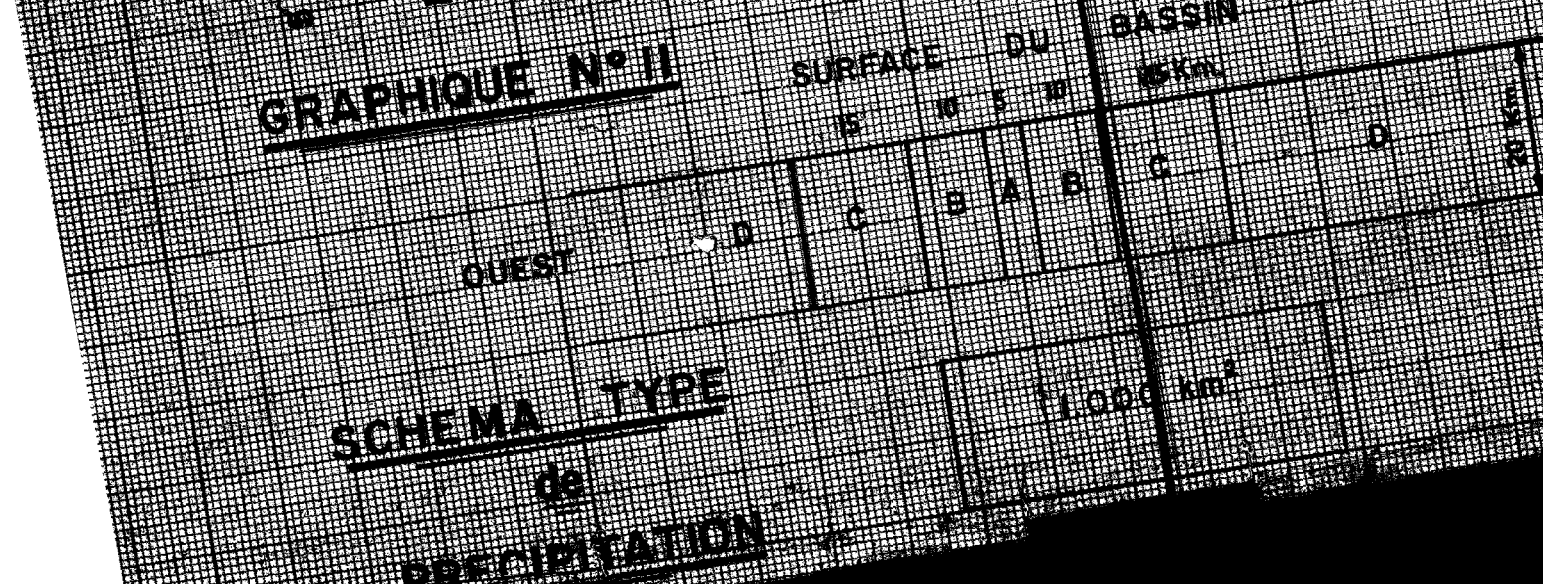
0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 1 1,5 2 3 4 5 6 7 8 9



# GRAPHIQUE N° 10



## GRAPHIQUE N° 11



SCHEMA TYPE  
de  
PRECIPITATION

tion directe du q 10 (débit spécifique décennal) pour un bassin de 5 km<sup>2</sup> fournissant ainsi un point supplémentaire définissant beaucoup mieux la droite D recherchée, dont, nous le rappelons, la pente est assez bien connue. Cette opération permettra même de rectifier par ajustement le point 25 km<sup>2</sup> issu du graphique n° 9.

Un bassin de 5 km<sup>2</sup> est présumé placé vers les crêtes naturelles du terrain, le sol a donc beaucoup de chances d'y être dégradé et la végétation clairsemée. Il faudra le choisir pour fixer les facteurs physiques sur une des branches supérieures bien représentative du bassin à étudier. Jusqu'à une pluviométrie annuelle de 1.000 mm, nous pourrions sans trop de risques lui appliquer l'abaque du graphique n° 5 (bassins de 5 km<sup>2</sup> en régions subdésertiques et sahélienne); au-delà de 1.000 mm la détermination du point 5 km<sup>2</sup> serait de cette manière sans doute surestimée, mais de combien ? Il est difficile de le préciser car les études effectuées à ce jour sur l'ensemble de l'Afrique Occidentale ne fournissent pas un nombre d'exemples suffisant.

Nous admettrons pour fixer les idées les coefficients de diminution suivants :

- jusqu'à 1.000 mm	: 100 %
1.100	: 95 %
1.300	: 90 %
1.500	: 80 %
1.800	: 70 %

En bref, il s'agira d'ajuster une droite de pente connue passant par deux points, l'un assez précis mais à réduire dans une proportion donnée, l'autre moins précis et à rectifier si besoin est.

Vouloir être plus explicite risquerait d'être malhonnête.

#### Remarque -

Nous n'avons pas parlé des bassins dont la surface est inférieure à 5 km<sup>2</sup>. Les très petits bassins sont tous des cas d'espèce qu'il faut étudier avec soin. C'est de la micro-hydrologie où l'influence des facteurs essentiels ne s'adapte plus à des règles moyennes. De simples accidents mineurs, routes, fossés, remblais, voies ferrées, terrassements, suffisent à constituer des paramètres importants du régime. De tels bassins sont bien à la taille de l'homme et son action sur la nature s'y ressent. Il serait presque nécessaire en micro-hydrologie d'introduire de nouveaux facteurs conditionnels du régime comme la densité de population et l'activité humaine.

.../...

Cela est applicable aux très petits bassins comportant des zones urbanisées, dont les coefficients de ruissellement sont souvent imprévisibles.

Les surfaces couvertes, revêtues de ciment ou bitume, ruissellent très bien, mais les clôtures, cours, haies, fosses, puits, surfaces nivelées, exercent un puissant effet contraire.

Les zones de densité rurale assez lâches (villages, tapades, petits champs, ne modifient pas en général les débits de crues applicables en terrain naturel.

### CHAPITRE III

#### BASSINS INTERMEDIAIRES - (de 50 à 1.000 km<sup>2</sup>)

Nous avons introduit cette catégorie pour marquer surtout l'influence de la dégradation des réseaux hydrographiques et celle des averses qui, prises isolément, cessent d'intéresser l'ensemble du bassin.

Ces bassins s'inscrivent dans une plage de transition où les méthodes analytiques si fertiles et agréables à l'esprit méthodique commencent à devenir décevantes.

C'est le "trou noir" des hydrologues tropicaux.

La genèse des averses tropicales est encore très mal connue. Il semble qu'elles se forment d'est vers l'ouest par concentration de masses nuageuses (parfois sous l'aspect de fuseaux successifs dont le volume croît rapidement), s'agglomérant pour constituer de puissants cumulus qui arrosent des bandes est-ouest et dont la largeur augmente certainement du nord au sud.

Le front de "tornado" paraît en zone subdésertique avoir une largeur assez faible : 15 à 20 km et, peut-être deux fois plus en zone typiquement tropicale.

C'est donc une succession de précipitations appartenant à un même "train" qui balaie un couloir d'est en ouest dont les limites nord/sud se conservent assez bien dans l'espace. Bien entendu chaque averse tombant en un point donné provient chaque fois d'un train différent.

Pour fixer les idées, nous définirons un schéma moyen valable pour tout le régime tropical matérialisant au sol les effets d'un train particulier de précipitations.

La largeur du couloir sera de 20 km. La partie centrale A, large de 5 km, correspond à la pluie décennale ponctuelle évaluée d'après la pluviométrie totale annuelle (graphique n° 3). Les 2 bandes latérales B, larges chacune de 10 km, correspondent à 50 % de la pluie décennale ponctuelle, enfin les 2 bandes extrêmes C, larges de 15 km, correspondent à 25 % de la pluie décennale. Les zones extérieures D, non limitées, correspondent en gros à des pluies inférieures à la fraction d'imbibition nécessaire pour franchir le seuil de ruissellement (15 à 25 mm suivant les conditions physiques du bassin et sa saturation). (Voir graphique n° 11).

.../...



Figurons maintenant sur une carte un rectangle de terrain naturel de 20 km sur 50 km, soit 1.000 km<sup>2</sup> et soit N le nombre d'averses individuelles donnant lieu à ruissellement tombant dans la zone choisie (N dépend de la pluviométrie annuelle).

Si, sur ce rectangle, nous superposons N fois au hasard le graphique n° 11 tracé sur un calque, nous obtiendrons une répartition des averses pendant la durée d'un hivernage particulier et comportant une averse décennale sur une fraction du bassin. Une telle répartition, en moyenne, est en accord avec la réalité.

Même si ce schéma apparaît mathématiquement insuffisant, nous le conserverons pour sa simplicité.

#### Remarque 1

En fait pour conserver la fréquence de récurrence de la pluie décennale, il faudrait s'astreindre à disposer 10 fois le graphique de répartition sur le bassin choisi et non N fois.

En effet, si N est supérieur à 10, rien ne s'oppose à ce que la pluie décennale n'apparaisse deux fois au même point pendant la même saison.

Cela provient du fait que la largeur de la bande A que nous avons adoptée est un peu trop grande et que d'autre part, chaque train d'averses défini ci-dessus ne comporte pas forcément un noyau de valeur décennale.

L'expérience montre que N est supérieur à 10 lorsque la pluviométrie annuelle dépasse 1.200 à 1.300 mm.

Par contre, en régime sahélien (pluviométrie annuelle comprise entre 300 et 700 mm) N est voisin de 10 (plutôt inférieur).

En régime subdésertique (H inférieur à 300 mm) notre approximation par défaut ira donc dans le sens de l'insécurité, il sera alors préférable de ne pas appliquer les coefficients d'abaissement du graphique n° 4.

#### Remarque 2

Rappelons que chaque hivernage reconstitué n'est pas du type courant mais comporte une pluie décennale arrosant une fraction du bassin. Dans notre étude, c'est précisément ceux-là qui nous intéressent seulement.

.../...

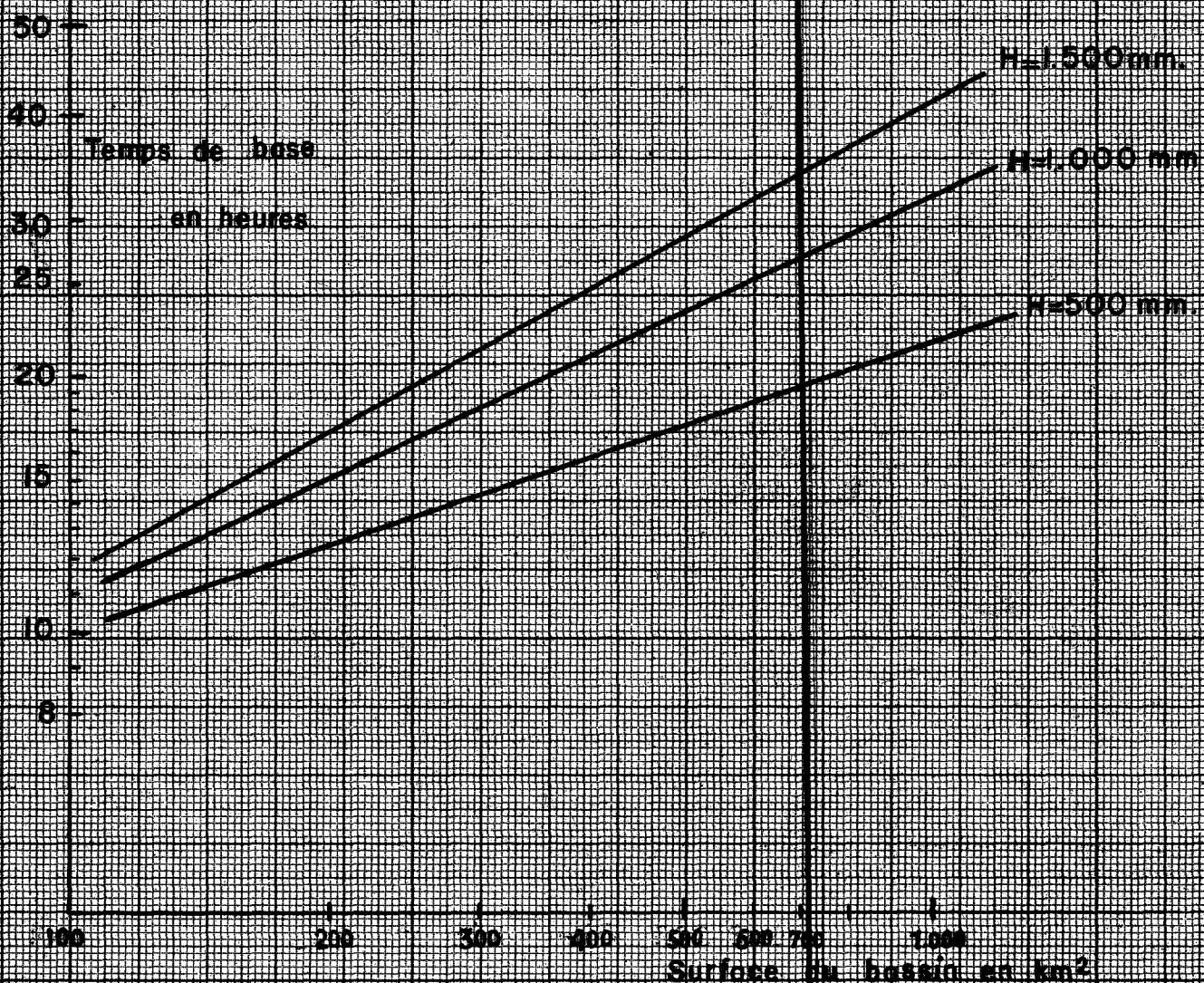
Positivement, il est évident que les différents trains d'averses successifs pendant la durée d'une saison unique ne possède pas tous, systématiquement, un noyau décennal.

Si l'on admet que dans notre rectangle de 1.000 km<sup>2</sup>, la précipitation décennale apparaît chaque année dans une bande quelconque de 100 km<sup>2</sup>, un seul train d'averses par hivernage jouit de cette propriété. Cette supposition est vraisemblable.

.../...

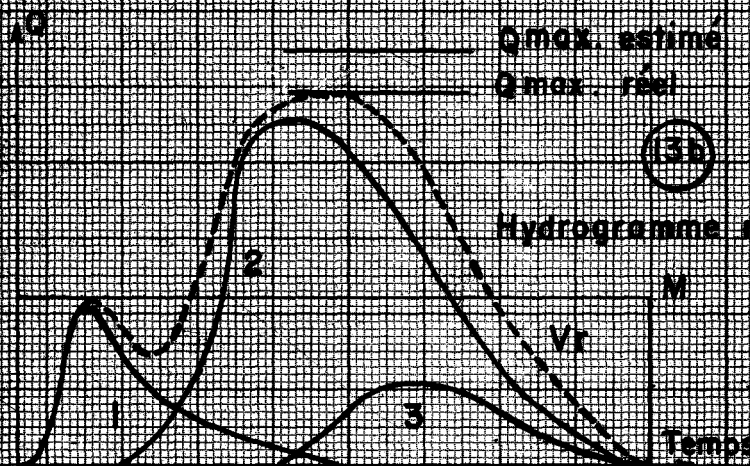
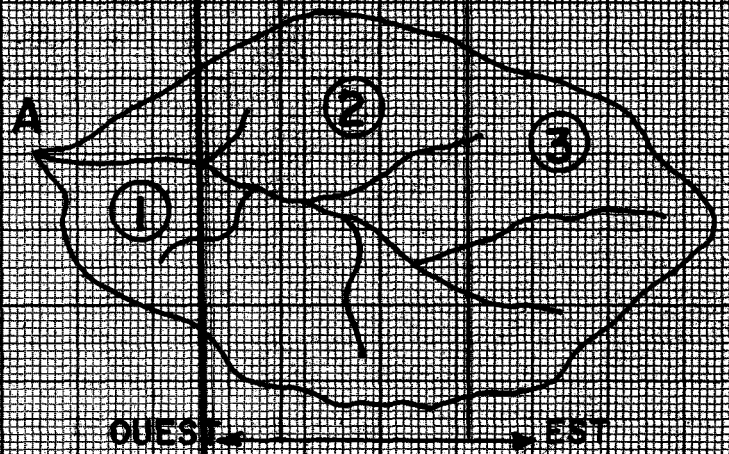
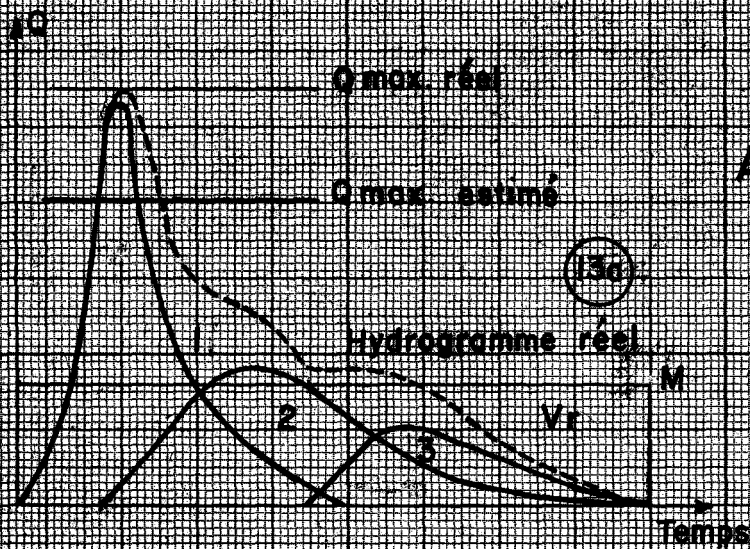
# GRAPHIQUE N°12

## TEMPS DE BASE ET SURFACE DU BASSIN



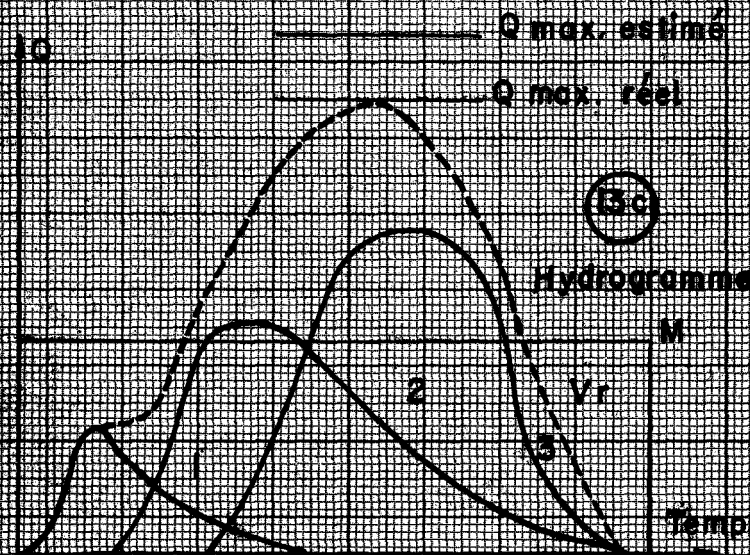


# GRAPHIQUE N° 13



## BASSINS INTERMEDIAIRES

### Composition des hydrogrammes parcelloires



13a :  $Q_{max. réel} > Q_{max. estimé}$

13b :  $Q_{max. réel} < Q_{max. estimé}$

13c :  $Q_{max. réel} > Q_{max. estimé}$

Qmax 2,5

L'hydrogramme réel de la parcelle 2 apparaîtra de toutes manières aplati par le transfert à travers la parcelle 1. Les actions de 1 et 3 s'ajouteront mais d'une manière moyenne sur l'ensemble de l'hydrogramme 2, telle que le sous-entend la méthode proposée.

En conséquence, le  $Q$  max réel et le  $Q$  max estimé ont beaucoup de chances d'être voisins.

### 3°. graphique 13 c

Les fortes intensités s'abattent sur la partie haute du bassin. La parcelle 1 est la plus faiblement arrosée. Les hydrogrammes 2 et surtout 3 s'aplatiront notablement dans le transfert vers A. Ce sont eux qui en se composant constitueront l'essentiel de l'hydrogramme global dont l'allure sera forcément "molle".

C'est cette hypothèse ou bien la précédente qui sera le plus souvent retenue dans la recherche de l'hydrogramme maximal possible suivant notre schéma pluviométrique.

Il est probable que le  $Q$  max estimé sera supérieur au  $Q$  max réel et que la méthode respectera les conditions de sécurité.

Nous nous sommes donné un schéma pluviométrique plausible contenant une averse décennale, nous l'avons disposé sur le bassin donné en nous orientant vers la recherche du ruissellement maximal, nous avons en outre dans deux cas sur trois, sacrifié à la sécurité. Quelle est alors la probabilité du phénomène ainsi reconstitué ?

Si nous estimons que la disposition pluviométrique retenue comme la plus dangereuse a été choisie entre 3 nettement différenciées du point de vue débits maximaux de la crue, la fréquence de cette dernière serait trentenaire.

L'hydrogramme réel de la parcelle 2 apparaîtra de toutes manières aplati par le transfert à travers la parcelle 1. Les actions de 1 et 3 s'ajouteront mais d'une manière moyenne sur l'ensemble de l'hydrogramme 2, telle que le sous-entend la méthode proposée.

En conséquence, le  $Q$  max réel et le  $Q$  max estimé ont beaucoup de chances d'être voisins.

### 3°. graphique 13 c

Les fortes intensités s'abattent sur la partie haute du bassin. La parcelle 1 est la plus faiblement arrosée. Les hydrogrammes 2 et surtout 3 s'aplatiront notablement dans le transfert vers A. Ce sont eux qui en se composant constitueront l'essentiel de l'hydrogramme global dont l'allure sera forcément "molle".

C'est cette hypothèse ou bien la précédente qui sera le plus souvent retenue dans la recherche de l'hydrogramme maximal possible suivant notre schéma pluviométrique.

Il est probable que le  $Q$  max estimé sera supérieur au  $Q$  max réel et que la méthode respectera les conditions de sécurité.

Nous nous sommes donné un schéma pluviométrique plausible contenant une averse décennale, nous l'avons disposé sur le bassin donné en nous orientant vers la recherche du ruissellement maximal, nous avons en outre dans deux cas sur trois, sacrifié à la sécurité. Quelle est alors la probabilité du phénomène ainsi reconstitué ?

Si nous estimons que la disposition pluviométrique retenue comme la plus dangereuse a été choisie entre 3 nettement différenciées du point de vue débits maximaux de la crue, la fréquence de cette dernière serait trentenaire.

Dans le cas d'un bassin plus ramassé, si 2 types de disposition seulement se différencient nettement, la fréquence serait de 1/20°.

La vérité doit se trouver sensiblement entre ces deux limites.

#### Remarque 1

La méthode d'appartenance analytique que nous venons d'exposer

.../...

s'appliquera assez bien, croyons-nous, pour des bassins de 300 à 600 km<sup>2</sup>, de formes classiques et d'orientation sensiblement est/ouest.

Au-delà, elle risque de devenir inextricable, non pas du fait de l'hypothèse pluviométrique qui conduit à neutraliser une partie du bassin arrosée au-dessous de l'imbibition, mais du fait des sujétions de transfert dans les lits sur des distances trop grandes pour pouvoir en toute honnêteté employer des formes traditionnelles d'hydrogrammes.

#### Remarque 2

Si le bassin s'étend nettement dans le sens nord/sud - nous pensons instinctivement que ce soit les plus dangereux - la méthode s'applique mal puisque nous avons limité à 20 km la largeur de la bande du schéma pluviométrique, alors que le bassin peut s'étendre sur une longueur active voisine du double (40 à 50 km).

Deux solutions sont possibles :

- a. Disposer le schéma pluviométrique de recherche dans le sens nord/sud. La solution est peu plaisante puisqu'elle va à l'encontre des suppositions faites concernant la genèse des averses tropicales.
- b. Doubler la largeur de la bande. Mais il est difficilement concevable de soumettre une portion de bassin de 40 x 5 km à l'action d'une violente averse décennale.

Il nous paraît plus logique d'ajouter à la bande est/ouest, de part et d'autre, au nord et au sud, une zone analogue à la zone B, c'est-à-dire soumise à une précipitation correspondant à 50 % de la pluie décennale.

#### Remarque 3 - Absorption dans le lit

Les tout premiers ruissellements en début d'hivernage font l'objet d'absorption intense dans les alluvions détritiques constituant les lits sahéliens (sable des bathas). Si l'on estime que l'écoulement dure suffisamment pour humecter le sable sec jusqu'à une profondeur d'un mètre, l'absorption serait voisine de 300 litres par m<sup>2</sup> de lit (porosité de 30 %), soit pour une batha d'un bassin de 500 km<sup>2</sup>, une perte au premier ruissellement de l'ordre de 10.000 m<sup>3</sup> par km de lit. Cette perte est énorme, mais elle diminue beaucoup dès le second flot où la réhumectation n'intéresse plus que 10 ou 30 cm suivant la fréquence des précipitations (à une profondeur de 0,20 m l'évaporation dans les sables semble déjà réduite au tiers de l'évaporation potentielle de surface).

La perte tomberait ainsi à 60 litres par m<sup>2</sup> de lit sableux.

.../...



Pour les bathas très larges (100 ou 200 m), il faudra réduire les volumes ruisselés et transités en conséquence.

Remarque 4 - Coefficient  $Q_{\max}/M$

C'est ce coefficient qui permet de passer du module de la crue globale au  $Q_{\max}$  estimé. Les données d'observations sur bassins intermédiaires sont trop peu nombreux pour l'évaluer avec précision.

En attendant, nous proposons :

<u>Surface du bassin</u>	<u><math>Q_{\max}/M</math></u>
100 km <sup>2</sup>	2,5
400 km <sup>2</sup>	2,4
700 km <sup>2</sup>	2,3
1.000 km <sup>2</sup>	2,2

.../...

B - ZONE TROPICALE DE SAVANE - (700mm  $\angle$  H  $\angle$  1.700 mm)

Les difficultés causées par l'intervention des facteurs végétation et saturation se retrouvent comme dans le Chapitre II.

Les bassins étant cependant plus étendus, il n'est pas impossible qu'une certaine régularisation naturelle commence à se faire sentir.

La recherche d'une loi de variation de  $q_{10}$  en fonction de la surface du bassin et de la pluviométrie annuelle, sur le modèle du graphique 10 et s'appliquant jusqu'à 1.000 km<sup>2</sup> semble fort possible, mais dans la mesure où l'on possède des observations pour construire les abaques, or malheureusement ce n'est guère le cas.

Jusqu'à 300 km<sup>2</sup> à la rigueur, on déterminera les  $q_{10}$  pour les bassins standard de 5 km<sup>2</sup> (graphique 5 et coefficient de diminution indiqués page 30) et de 25 km<sup>2</sup> (graphique 9).

Sur les deux points obtenus, et portés sur un graphique du type 10, on ajustera une droite parallèle aux droites des  $D_1$ ,  $D_2$  ou  $D_3$  suivant la pluviométrie annuelle.

Rien ne nous autorise à extrapoler la droite définie ci-dessus jusqu'à la verticale correspondant aux bassins de 1.000 km<sup>2</sup>. Cette opération pourrait évidemment donner un ordre de grandeur du  $q_{10}$  pour 1.000 km<sup>2</sup>, mais sans avoir la moindre idée de l'erreur commise.

Autrement dit, sans aucune observation hydrométrique ou simplement limnimétrique effectuée sur le bassin, nous ne pourrions répondre à la question posée.

Si l'on disposait seulement dans les archives, de quelques hydrogrammes réels, d'un en particulier, correspondant à une pluie de fréquence un peu plus rare que la fréquence annuelle (3 à 4 fois la fraction d'imbibition), l'estimation du temps de base et la connaissance d'une valeur du rapport  $Q_{max}/M$  seraient suffisantes pour nous orienter vers une approche analogue à celle utilisée ci-dessus au paragraphe A. Encore faudrait-il que cet unique hydrogramme de qualité corresponde à une pluie homogène et à des conditions de saturation moyenne.

La seule façon d'en avoir une idée rassurante serait, bien entendu, de posséder plusieurs bons hydrogrammes.

Il faudrait donc davantage d'observations.

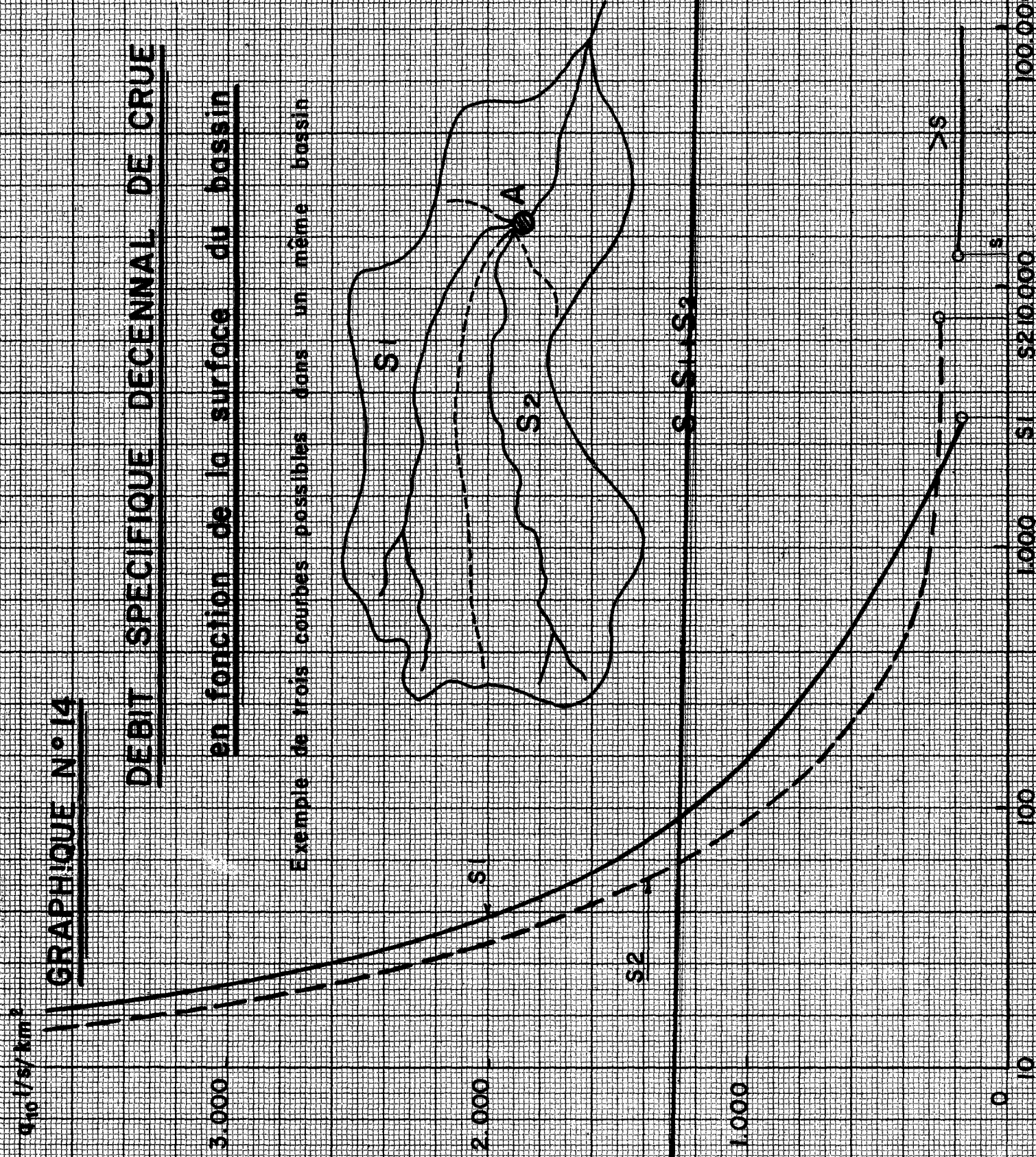
.../...

# GRAPHIQUE N° 14

## DEBIT SPECIFIQUE DECENNAL DE CRUE

en fonction de la surface du bassin

Exemple de trois courbes possibles dans un même bassin



- Etude statistique de la pluviométrie connue ;
- Détermination de  $q_{10}$  d'après la valeur décennale de  $H_n$  ;
- Construire la courbe  $q_{10} = f(\log S)$  à titre de vérification ( $S$  = Surface du bassin en  $km^2$ ) .

Remarque -

La courbe fondamentale  $q_{10} = f(\log S)$  peut dans certains cas présenter des singularités telles que des points d'inflexion. En région de pluies tropicales homogènes, il y a beaucoup de chances pour qu'elles découlent directement de singularités dans la variation en fonction de  $S$  des facteurs physiques du bassin (pente et imperméabilité surtout) et du facteur couverture végétale. Il est donc souhaitable pour établir cette courbe de s'aider si possible :

- de profils en long des cours d'eau du bassin qui indiqueront aux alentours de quelles valeurs de  $S$  la pente s'affaisse plus ou moins brutalement entraînant ainsi une baisse très sensible des  $q_{10}$ .
- d'une carte de la couverture végétale du bassin en fonction de l'altitude permettant de saisir à partir de quelles surfaces de bassin risquent d'apparaître des phénomènes de freinage dus à la végétation.
- enfin une carte lithologique indiquant les conditions de perméabilité de l'amont vers l'aval.

Avec tous ces renseignements, un peu de flair, beaucoup de chance, l'exploitation éventuelle à fond de points approchés, l'étude du tracé de la courbe sera abordable dans beaucoup de cas, permettant d'estimer au mieux les valeurs  $q_{10}$  correspondant au "trou" hydrologique chevauchant (de 500 à 6.000  $km^2$ ) les catégories de bassins intermédiaires et moyennes.

.../...

## CONCLUSIONS GENERALES

L'idée essentielle à retenir est que l'hydrologie tropicale possède quelques atouts maîtres :

- Bonne connaissance de la pluviométrie ;
- Stations fondamentales connues sur des grands bassins ;
- Solides informations sur l'hydrologie des petits bassins.

Pour les utiliser à fond, il conviendra de ne jamais considérer un bassin donné isolément mais dans son contexte géographique et hydrologique en s'appuyant sur les modifications connues et exploitables du  $q_{10}$  de l'amont vers l'aval et en recherchant à jalonner de points sur la courbe fondamentale  $q_{10} = f(\log S)$ .

Il n'y a jusqu'à maintenant aucune raison décelable en régime tropical pour que cette courbe ne soit pas continue et d'allure simple. Il ne faut pas oublier que cela pourrait être le cas, s'il apparaissait dans la croissance des surfaces de bassin, un changement radical dans la nature du phénomène, par exemple :

- Influence nettement prépondérante des intensités sur les petits bassins en régime pluviométrique anarchique (Hauts bassins très accidentés) ;
- Influence importante, même en crue, de débits provenant du drainage de nappes ;
- Existence de vastes cuvettes d'épandage ou d'un delta d'inondation intérieur.

Enfin, pour terminer, nous définirons les objectifs les plus urgents à atteindre en vue de renforcer nos connaissances hydrologiques tropicales :

- Maintenir fermement le fonctionnement des stations existantes sur les grands bassins ;
- Développer considérablement le nombre de stations sur les bassins de 2.000 à 5.000 km<sup>2</sup>.
- Approcher les durées de pluies totales ( $H_n$ ) donnant pour les bassins

.../...

moyens et intermédiaires les meilleures corrélations avec les débits de pointes.

- Attaquer les bassins intermédiaires fournissant des points permettant de jalonner la courbe  $q_{10} = f(\log S)$ .
  - Mettre au point définitivement une étude statistique de la pluviométrie et l'exploiter à fond en vue de l'Hydrologie.
-



# BIBLIOGRAPHIE

- Introduction à un important programme de construction de barrages en terre en Haute-Volta par G. MATON
- Monographie du Niger (Haut Niger et Niger Moyen)  
O.R.S.T.O.M. (C. AUVRAY - M. ROCHE)
- Régimes hydrologiques de l'Afrique Noire à l'Ouest du Congo  
J. RODIER -
- Etudes hydrologiques de petits bassins versants expérimentaux en Afrique (1955 à 1958) ORSTOM -
- Hydrologie du Massif de l'Affolé en Mauritanie - ORSTOM  
(M. ROCHE).
- Etudes hydrologiques de petits bassins au Dahomey -  
Rapport Général - ORSTOM -
- Etudes hydrologiques dans le Brakna et Tagant 1957-58-59  
ORSTOM (Y. BRUNET-MORET).
- Etudes du bassin versant de l'Agnéby et de la Haute Bagoë  
ORSTOM (G. GIRARD).
- Alimentation en eau de la zone des grès d'Agadès  
ORSTOM (R. LEFEVRE).
- Etudes hydrologiques des petits bassins versants de Côte-d'Ivoire  
ORSTOM (P. DUBREUIL).
- Les eaux souterraines en Afrique Occidentale J. ARCHAMBAULT
- Etudes du bassin versant de l'Agnéby 1959 ORSTOM (P. DUBREUIL).
- Etudes des bassins versants expérimentaux du Mayo-Kereng  
ORSTOM (H. PELLERAY).
- Etudes de crues sur les petits bassins versants d'AEF et du Cameroun  
(J. RODIER).
- Pluie Evaporation Filtration - Compte-rendu des Journées de l'Hydraulique Alger 12-14 Avril 1954 - Sté Hydrotechnique de France -

.../...

- Prévision géographique des grandes inondations (M. PARDE).
  - Pratique des mesures et interprétation des résultats en climatologie et hydrologie (M. ROCHE).
-