

# III. ÉTUDE DES PETITS BASSINS DE L'AGGLOMÉRATION DE BRAZZAVILLE

par

le Service Hydrologique de l'A.E.F.

L'agglomération de BRAZZAVILLE s'étend sur une longueur de 10 km. pour une superficie totale d'environ 20 km<sup>2</sup>. On comprend que, sur une telle étendue, les bassins versants des cours d'eau naturels atteignent des dimensions appréciables.

Les premiers ouvrages d'assainissement, établis sans études hydrologiques approfondies, s'étant avérés insuffisants, il a été nécessaire, pour améliorer le réseau, de procéder à des études expérimentales.

Ces études, faites à la demande de la Direction Générale des Travaux Publics, qui a fourni la majeure partie des crédits nécessaires, ont été englobées dans les programmes d'études des petits bassins versants de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer. Les données de base ainsi déterminées sont remises au Bureau Central d'Etudes pour les Equipements d'Outre-Mer pour l'établissement des projets.

## I - MOYENS D'ACTION

### a) Personnel :

Les études ont été effectuées pendant les deux saisons des pluies de Mars, Avril, Mai et Octobre, Novembre Décembre 1954.

Elles ont été conduites par :

MM. Jacques AIMÉ, Maître de Recherches  
Marius ALDEGHERI, chargé de recherches  
Georges RUBÉ, ingénieur hydro-géologue  
René TEISSIER, agent-technique

avec un dessinateur et deux aides africains.

L'expérience a montré que sur le terrain la présence d'un ingénieur hydrologue et d'un agent technique était indispensable pour mener à bien les délicates mesures de débits qui, comme nous le verrons plus loin, se sont avérées beaucoup plus difficiles que d'ordinaire.

### b) Matériel :

Trois stations de jaugeage avaient été aménagées sur les ruisseaux M'FOA, OUENZÉ et MAKÉLÉKÉLÉ.

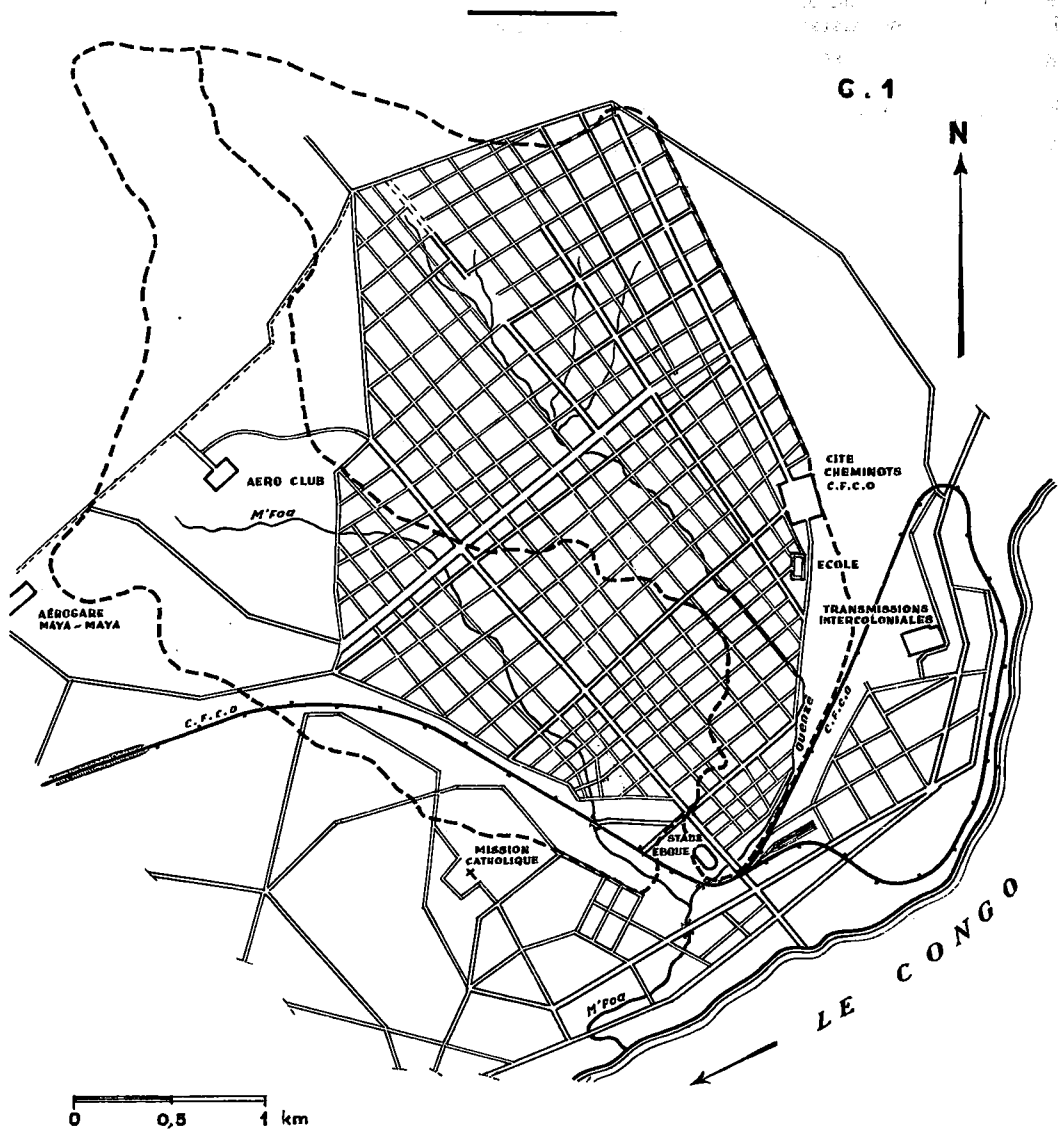
Cette dernière, en raison de la topographie qui s'y prêtait assez bien, avait été aménagée en canal venturi, doublé d'un déversoir à seuil épais pouvant être équipé en déversoir à mince paroi pour les mesures des faibles débits.

L'étude de ce bassin a été ajournée étant donné l'urgence des projets sur les deux autres bassins de la M'FOA et de la OUENZÉ drainant la cité indigène de POTO-POTO.

Chaque station de jaugeage était pourvue du matériel suivant :

- 1 passerelle sur bief canalisé
- 1 limnigraphe à flotteur Richard, dont la durée de rotation du tambour avait été ramenée à 24 h. (1 mm. sur le papier représentait 3 mn.).

## BASSINS VERSANTS DE LA M'FOA ET DE LA OUENZÉ



Les jaugeages ont été effectués avec un moulinet Ott monté sur perche et pied de perche Neyrpic.

L'étude de la pluviométrie a nécessité :

- 15 pluviomètres "Association"
- 1 " enregistreur à siphon type O.N.M.
- 2 " " a augets basculeurs (ces deux derniers n'ont été utilisés qu'à la seconde campagne).

### II - CARACTÉRISTIQUES DES BASSINS VERSANTS

Chaque cours d'eau a été étudié individuellement. La proximité des deux bassins a permis cependant de mener simultanément les observations aux deux stations pendant la plupart des averses.

Les limites des bassins versants ont été tracées d'après les plans cadastraux au 1/2 000° et le nouveau plan de BRAZZAVILLE au 1/10 000°, complétés par des photographies aériennes.

Les limites restent imprécises dans les parties supérieures du bassin où manquent des levés réguliers.

Les caractéristiques topographiques des bassins sont données dans le tableau ci-dessous, où sont utilisées les notations suivantes :

- S : surface du bassin en km<sup>2</sup>
- P : périmètre du bassin en km
- l : 5 m. Équidistance des lignes de niveau utilisées
- Kp :  $\frac{d \cdot l}{1000 \times S}$  Coefficient de pente
- Kf :  $\frac{P}{2 \sqrt{lS}}$  Coefficient de forme
- d : somme des longueurs des lignes de niveau tracées dans le bassin en km.

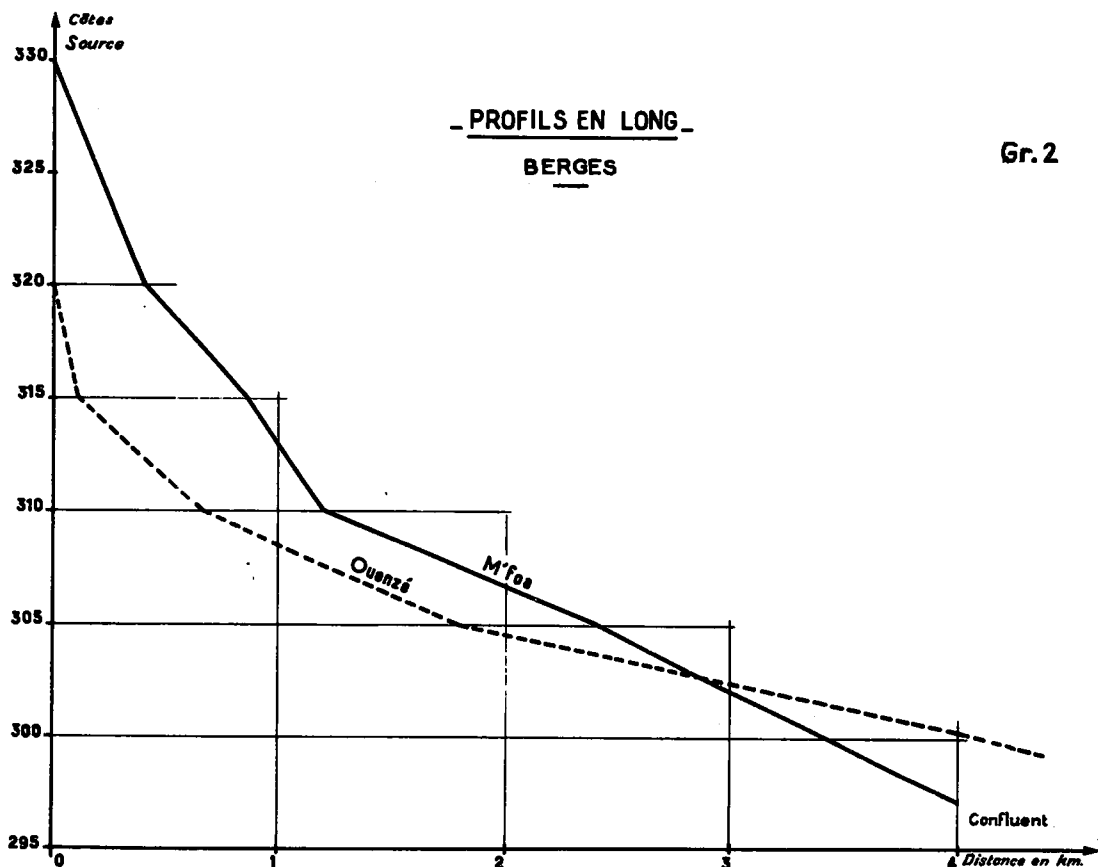
| Stations | S   | P    | Kp    | l | d     | Kf   |
|----------|-----|------|-------|---|-------|------|
| M'FOA    | 6,3 | 14,5 | 0,021 | 5 | 26,45 | 1,63 |
| OUEZÉ    | 6,7 | 14,0 | 0,010 | 5 | 20,60 | 1,53 |

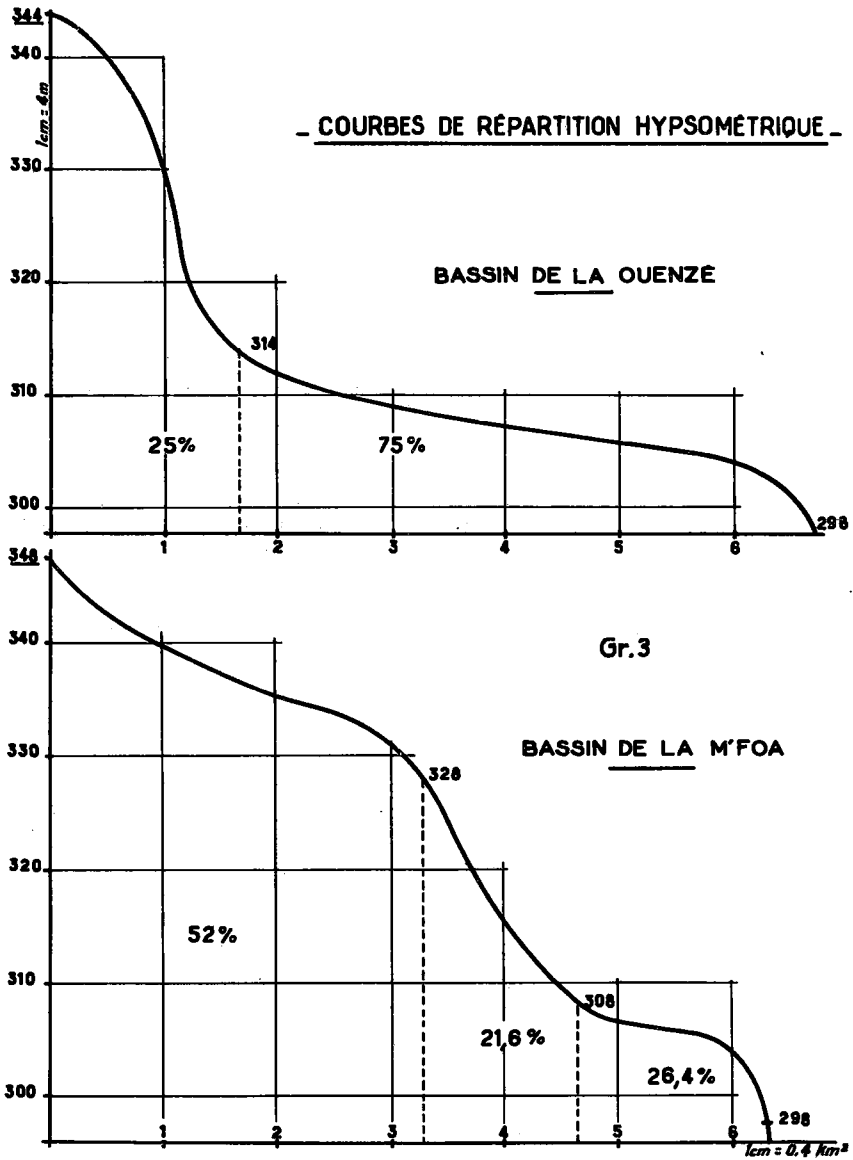
Les profils en long des deux rivières ont été relevés au tachéomètre depuis leur confluent jusqu'aux stations de mesures et un peu au-delà. Ces profils sont donnés sur la fig. 1 où les distances du fond et de la surface libre doivent être prises horizontalement sur l'échelle des abscisses.

Aux stations de mesures, les pentes sont les suivantes (en millième) :

|                                      | M'FOA | OUEZÉ |
|--------------------------------------|-------|-------|
| - Radier . . . . .                   | 6.82  | 4.44  |
| - Surface libre à l'étiage . . . . . | 6.73  | 4.15  |

Le graphique 2 donne les profils en long des berges tels qu'ils ont pu être établis grâce aux relevés du cadastre. Ces profils accusent une pente moyenne entre les sources et le confluent de 8.25 % pour la M'FOA et 4.42 % pour la OUEZÉ. Ces pentes sont considérables.





Les stations de mesures sont placées à une distance suffisante du confluent, de sorte qu'en ces stations le niveau de l'eau n'est pas influencé par celui de l'autre rivière. S'il n'y a pas forcément proportionnalité entre les diverses crues, il y a toujours simultanéité.

Le graphique 3 donne la répartition hypsométrique pour chaque bassin. On peut aussi schématiser ce graphique par le tableau suivant :

| Bassin   | Superficie<br>km <sup>2</sup> | %    | Altitude<br>m. | Pente   |
|----------|-------------------------------|------|----------------|---------|
| M'FOA    | 3.28                          | 52   | 348-328        | Faible  |
|          | 1.36                          | 21,6 | 328-308        | Moyenne |
|          | 1.66                          | 26,4 | 308-297,8      | Faible  |
| OUENZÉ   | 1.68                          | 25   | 344-314        | Forte   |
|          | 5.02                          | 75   | 314-297        | Faible  |
| Ensemble | 4.35                          | 33,4 | 348-328        | Moyenne |
|          | 1.95                          | 15,0 | 328-312        | Forte   |
|          | 6.70                          | 51,6 | 312-297,8      | Faible  |

La nature des différents terrains qui occupent les bassins peut être différenciée comme suit :

|  | M'FOA           |                 |      | OUENZÉ          |                 |      |
|--|-----------------|-----------------|------|-----------------|-----------------|------|
|  | km <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | %    | km <sup>2</sup> | km <sup>2</sup> | %    |
| -Pseudo-steppe passant progressivement à la savane arbustive |                 | 3,2             | 50,8 |                 | 1,3             | 19,5 |
| -Cité européenne   | 0,6             |                 |      | 0               |                 |      |
| -Cité indigène   | 2,5             |                 |      | 5,4             |                 |      |
| -Cités réunies   |                 | 3,1             | 49,2 |                 | 5,4             | 80,5 |

Au point de vue géologique, les bassins sont entièrement recouverts de sables éoliens blancs provenant du lessivage des sables batékés jaunes, ces sables ont été appelés "lességués" par BABET. Cette formation appartient au KALAHARI.

### III - PLUVIOMÉTRIE

#### a) - Régime pluviométrique :

La région de BRAZZAVILLE est soumise au climat équatorial de transition. Ce climat comprend deux saisons des pluies : en Mars-Avril-Mai et en Octobre-Novembre-Décembre dont l'abondance est à peu près du même ordre, séparées par deux saisons sèches très inégales. La grande saison sèche : Juin-Juillet-Août-Septembre, qui rappelle l'unique saison sèche du régime tropical de transition classique; pratiquement pas de précipitations pendant cette période de quatre mois. La petite saison sèche ne dure que un mois, en Janvier ou Février; elle est marquée généralement par un simple ralentissement des précipitations. La hauteur de précipitations annuelles n'est pas très élevée : 1 509 mm.

#### b) - Isohyètes, décroissance, pluie moyenne :

Les 18 pluviomètres ont été relevés après chaque pluie, ce qui a permis l'étude de la pluie par averse individuelle.

On peut donc dessiner pour chacune d'elles les lignes isohyètes. L'exécution du tracé a montré que la densité des pluviomètres était suffisante, mais nécessaire.

L'hétérogénéité des averses est assez forte.

La répartition de la pluie sur chaque bassin a été étudiée comme suit. Nous avons construit pour chaque averse des graphiques dont chaque point donne en ordonnée une hauteur de pluie et en abscisse la surface du bassin sur laquelle est tombée au moins cette hauteur, l'intégration de la courbe obtenue donne le volume total d'eau tombée, on en déduit la hauteur moyenne et le coefficient d'abattement, rapport de la pluie moyenne à la pluie maximum; le même travail a été répété pour l'ensemble des deux bassins.

Les courbes construites représentent la décroissance de la pluie à l'intérieur des bassins et non pas la décroissance de celle-ci sur toute la surface balayée par l'averse qui relèverait d'une étude différente. En particulier, il faut tenir compte de la déformation que les limites du bassin infligent aux courbes de décroissance.

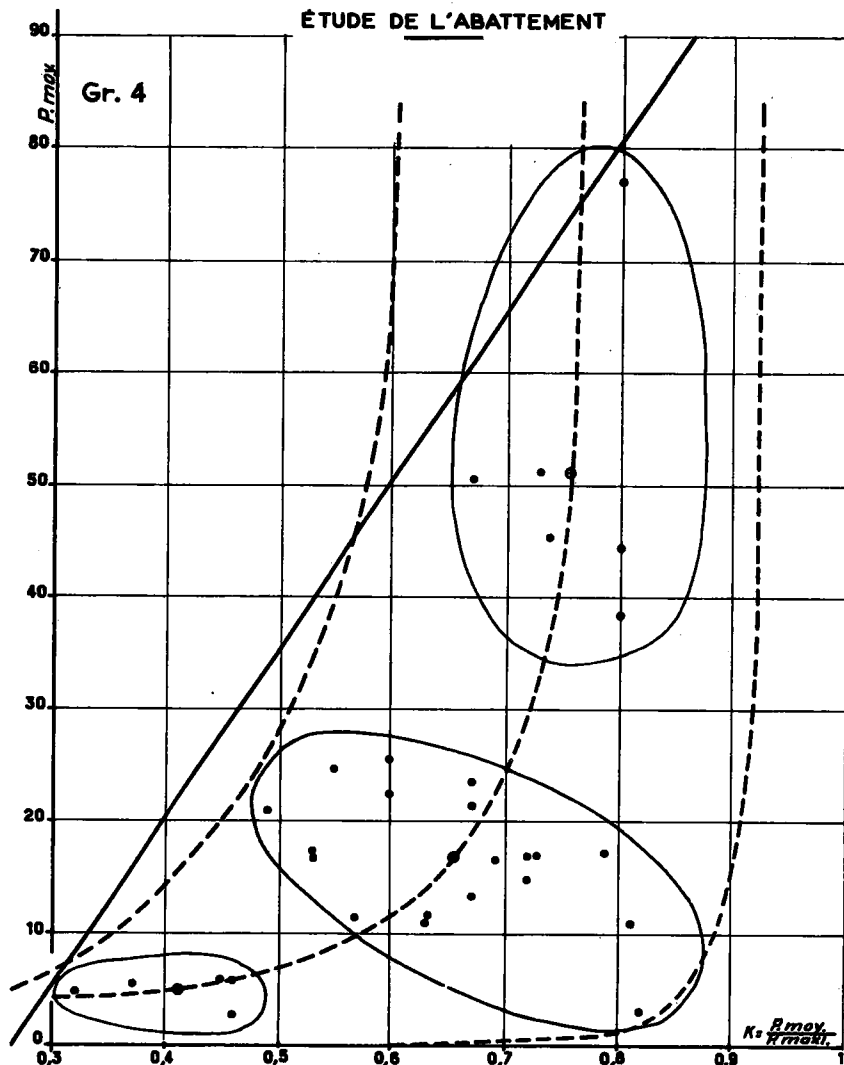
Les résultats numériques figurent au tableau récapitulatif ci-contre. Pour la pluviométrie, ils portent actuellement sur l'étude de trente pluies. Pour l'ensemble des deux bassins, la pluie moyenne varie de 2,7 mm. (première pluie du 2 Novembre) à 76,9 mm. (30 Mars). Ce dernier chiffre est, par exception, relatif à deux pluies très rapprochées, la première n'ayant atteint qu'une dizaine de mm. et la seconde ayant surpris l'opérateur qui relevait les pluviomètres. Le maximum maximorum atteint au cours de cette double averse est de 95 mm. En seconde position, on ne trouve, pour les pluies moyennes, que 51,3 (8 Avril) et en troisième 50,6 (11 Décembre) pour des maxima respectifs de 70,1 et 75,0.

Le coefficient d'abattement varie, pour l'étude des 30 pluies et l'ensemble des deux bassins de 0,32 à 0,82.

Nous avons établi un graphique sur lequel les valeurs du coefficient d'abattement sont portées en abscisses. Les ordonnées représentent la pluie moyenne; chaque pluie est représentée par un point.

- PLUVIOMETRIE -

ÉTUDE DE L'ABATTEMENT



A première vue, les points sont très dispersés et il semble qu'il n'y ait aucune corrélation entre coefficient d'abattement et hauteur de précipitations.

On peut toutefois remarquer que :

1°) - il est possible de tracer sur le graphique une droite au-dessus de laquelle se trouve aucun point. Cette droite donnerait donc pour chaque hauteur de pluie, maximum ou moyenne, la limite inférieure du coefficient; cette limite augmenterait donc avec la hauteur de pluie.

2°) - Les points peuvent être répartis en trois plages. Pour chacune d'elles, nous avons noté les maxima et minima et établi des moyennes données par le tableau ci-dessous :

| Zones | Nbre de pluie | %    | Coefficient |      |       | Pluies moyennes |      |      |
|-------|---------------|------|-------------|------|-------|-----------------|------|------|
|       |               |      | Min.        | Max. | Moy.  | Min.            | Max. | Moy. |
| I     | 5             | 16.7 | 0.32        | 0.46 | 0.412 | 2.7             | 5.7  | 4.8  |
| II    | 19            | 63.4 | 0.49        | 0.82 | 0.654 | 3.2             | 25.7 | 16.7 |
| III   | 6             | 20.0 | 0.67        | 0.80 | 0.756 | 38.4            | 76.9 | 51.1 |

La colonne des moyennes donne les centres de gravité des trois plages de points. On peut construire avec ces trois points une courbe qui représenterait les variations moyennes. Pour une hauteur moyenne de pluie donnée, cette courbe donnerait le coefficient d'abattement le plus probable. Le résultat serait donc un peu différent de celui obtenu par la simple construction de la droite indiquée plus haut.

Il semble plutôt que les points se répartissent entre les deux courbes limites tracées à droite et à gauche de la courbe précédente.

De toute façon, ces résultats reposent sur un nombre trop restreint d'expériences pour être admis sans discussion. Ils sont basés sur l'étude de trente averses seulement.

c) - Hyétogrammes et intensités maxima :

La première campagne a été faite avec un pluviomètre enregistreur à siphon. La seconde a été commencée avec deux appareils semblables et deux pluviomètres enregistreurs à augets. Il aurait été préférable d'en avoir davantage, mais des difficultés d'ordre financier - prix des appareils, temps de dépouillement - l'on empêché.

Nous nous sommes efforcés de réduire autant que possible les temps de révolution des tambours des appareils à augets en les ramenant de 8 jours à 48 h. puis à 24 h. Au point de vue de notre étude, les appareils courants tournent trop lentement.

Chaque fois que cela a été possible, nous avons fait des enregistrements par lecture directe, un opérateur notant en fonction du temps la hauteur de l'eau dans l'éprouvette d'un pluviomètre ordinaire placée directement sous l'entonnoir relié à la bague calibrée du pluviomètre.

Le dépouillement est un travail long et délicat. Quel que soit le type de l'enregistrement, il faut reconstituer d'abord entièrement la courbe qui donne les hauteurs d'eau cumulées pendant toute l'averse. L'élaboration du hyétogramme consiste à dériver cette courbe, opération bien plus mal commode et imprécise qu'une intégration, tant qu'il s'agit de courbes expérimentales auxquelles on ne peut substituer aucune fonction mathématique. Pour satisfaire à l'usage, nous avons tracé des courbes d'intensité par paliers. L'unité employée est le mm/heure. Leur construction laisse intervenir un important coefficient personnel de l'opérateur, notamment en ce qui concerne la discrimination des différents paliers.

Les intensités maxima enregistrées sont les suivantes :

- 290 mm/h. pendant 2 mn. le 8 Avril
- 150 " " 2 mn. le 11 Décembre.

En général, pour chaque averse ayant provoqué une crue un peu importante, le maximum d'intensité est situé entre 50 et 100 mm/h. et est plus souvent voisin du premier chiffre.

La construction des hyétogrammes moyens pour chaque bassin se fait de la façon suivante :

On commence par multiplier les ordonnées des différents hyétogrammes relevés lors d'une averse par un facteur tel que chacun d'eux donne la hauteur de la pluie moyenne tombée sur le bassin, calculée comme il a été indiqué plus haut. Puis, on construit le hyétogramme moyen en prenant pour chaque moment la moyenne des intensités données par les hyétogrammes ainsi modifiés. Le nombre des gradins se trouve évidemment augmenté.

En faisant ce travail, on a pleinement réalisé la grande hétérogénéité des pluies qui apparaît d'autant plus grande que l'on réduit l'échelle des temps.

#### IV - TARAGE DES STATIONS DE MESURE DE DÉBIT

a) - Préliminaire :

Le régime de nos deux rivières s'apparente à celui des cours d'eau de la bordure Sud des Plateaux BATEKÉS, le type de ces rivières est le DJOUÉ :

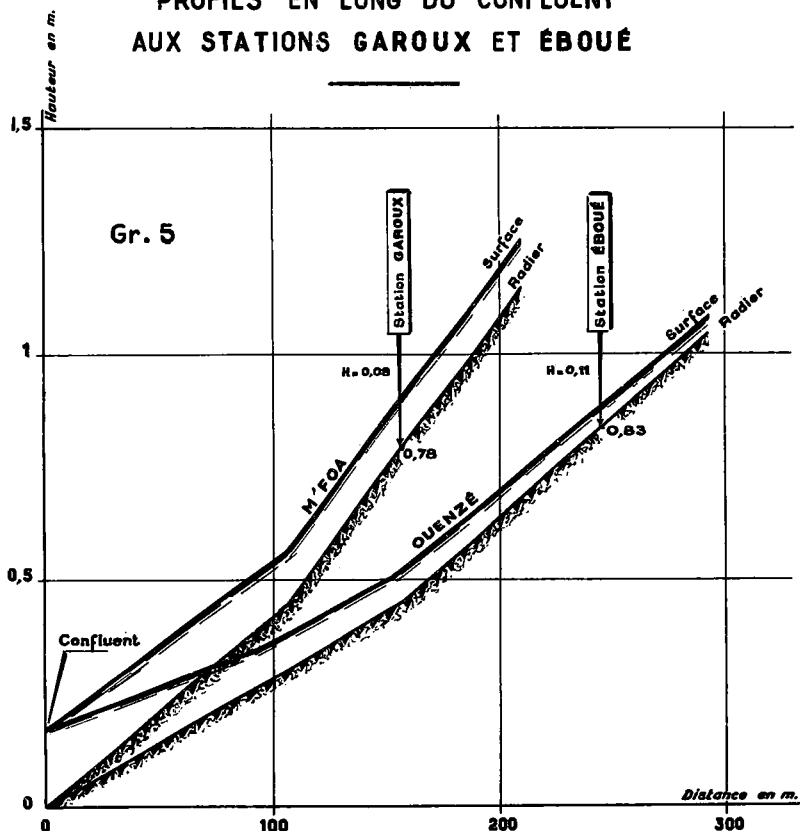
La régularisation naturelle produite par l'épaisseur considérable de sable est moins complète qu'au centre des Plateaux, mais elle donne lieu à un débit de base encore très important (80 % du module).

Deux séries de crues en Novembre, Décembre, Janvier et en Mars, Avril, Mai viennent superposer leurs pointes à ce débit, l'étiage de Février étant généralement plus abondant que celui d'Octobre.

Les deux petits bassins qui font l'objet de cette étude présentent bien un débit de base variant assez peu pendant les deux périodes sèches : 150 l/sec. environ pour la M'FOA (6,3 km<sup>2</sup>) et 70 l/sec. pour la OUNZÉ (6,7 km<sup>2</sup>) : débits spécifiques considérables, mais les crues sont beaucoup plus violentes. Ce fait tient à l'exiguïté des bassins versants et à la grande importance des surfaces urbaines beaucoup plus imperméables que la brousse des plateaux BATEKÉS.

Si nous examinons en détail la "dentelle" de saison des pluies, nous constaterons que chaque pluie notable déclanche instantanément une crue d'importance très variable et conditionnée par l'intensité et la durée de la pluie, le degré d'imbibition du sol, etc.

## PROFILS EN LONG DU CONFLUENT AUX STATIONS GAROUX ET ÉBOUÉ



Si une nouvelle pluie n'intervient pas, on peut dire qu'en 15 ou 20 heures après le début de la crue la rivière est revenue au débit de base.

Les stations de mesures sont placées dans des biefs canalisés à parois verticales en maçonnerie, le fond étant à peu près horizontal et les largeurs étant de 4,92 m. à la M'FOA et 2,10 m. à la OUENZÉ. La profondeur moyenne de la OUENZÉ est de 6 cm. environ à l'étiage, elle doit dépasser 1,90 m. dans les crues exceptionnelles. Les déplacements du fond varient presque dans les mêmes proportions : on a observé des variations de 35 cm. à la station de jaugeage. Ces chiffres doivent rester du même ordre pour le reste du parcours. La M'FOA est moins profonde, mais les variations s'y font dans des rapports analogues. Les mouvements du plan d'eau et du fond de nos rivières ne sont donc pas comparables à ceux des grands cours d'eau plus généralement étudiés.

Ce premier aperçu laisse prévoir que l'étude des crues de la M'FOA et de la OUENZÉ ne pourra pas être effectué par les procédés de mesures usuels.

L'étude des débits d'un cours d'eau se fait habituellement d'après les relevés de la hauteur de l'eau sur une échelle. Un certain nombre de jaugeages exécutés pour différentes hauteurs d'eau à l'échelle permettent de tracer la courbe exprimant la relation entre hauteurs et débits.

Pour les bassins versants de POTO-POTO les échelles de longueur et de temps se trouvent réduites à des proportions inaccoutumées pour des travaux d'hydrologie. De prime abord, l'emploi de limnigraphes s'est révélé indispensable pour l'étude de phénomènes aussi rapides, insaisissables par l'observation directe. On verra plus loin que le mécanisme de ces phénomènes est profondément affecté par la rapidité des variations de hauteurs à tel point qu'il devient méconnaissable.

### b) Etude qualitative des crues -

Examinons d'abord le déroulement d'une crue brutale typique, consécutive à une courte averse de grande intensité ayant pratiquement cessé avant que la crue ait atteint son maximum à la station de mesures.

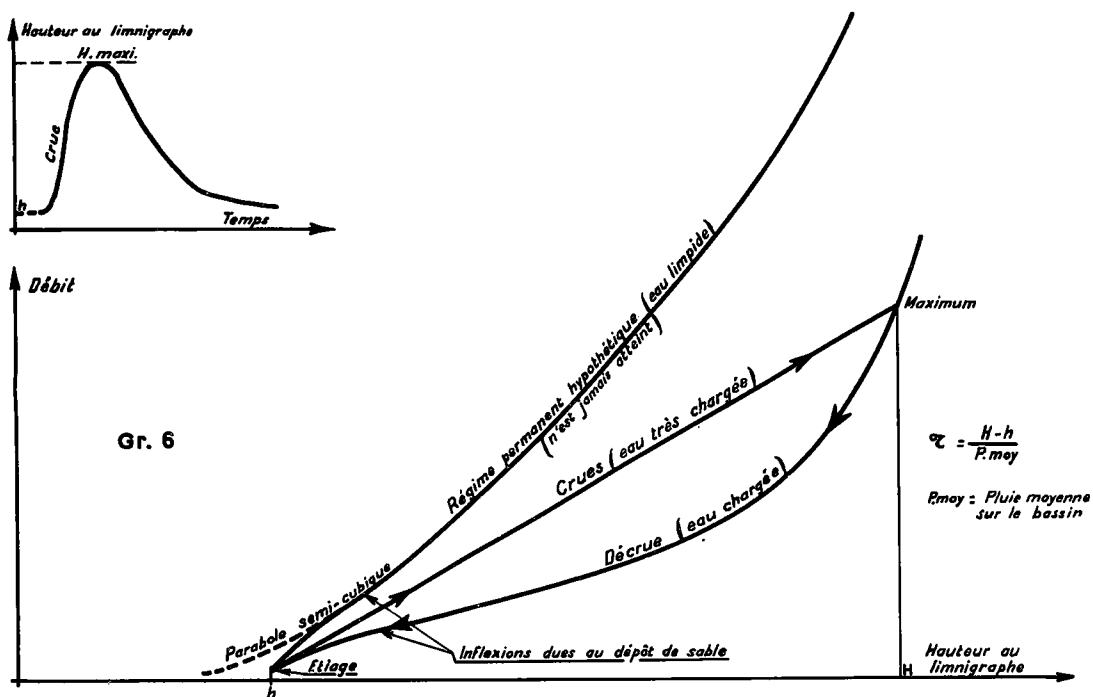
La montée de l'eau est extrêmement rapide. Ainsi le 26 Novembre on a vu la OUENZÉ monter de 1,16 m. en 3/4 d'heure, dont 0,95 en 14 mn. La décrue est plus progressive. La courbe enregistrée par le limnigraphe a la forme d'un S très tendu verticalement pour la crue et celle d'un S inversé et très incurvé pour la décrue. Celle-ci présente encore une partie très inclinée pour les hauteurs voisines du point d'inflexion placé un peu au-dessus de la moitié du maximum.



L'eau qui se rassemble au début dans la rivière s'écoule avec une pente de surface libre élevée, elle prend donc immédiatement une grande vitesse. Mais cette eau provenant du premier ruissellement est déjà très chargée et arrache le sable et la vase déposés à la fin de la décrue précédente; elle est donc de plus en plus visqueuse. Elle débarrasse la rivière des branches d'arbres, détritiques, etc. qui l'encombrent. On arrive bientôt au maximum de hauteur au voisinage duquel se trouve aussi le débit maximum. La pluie ayant cessé le ruissellement décroît très vite, bientôt la crue n'est plus alimentée en amont et l'aval est justement à son maximum d'encombrement et de viscosité. Il en résulte une sorte d'engorgement et un "coup de frein" brutal : la vitesse moyenne de l'eau décroît très vite, beaucoup plus vite que la hauteur et la rivière va simplement se vider à un rythme de plus en plus lent.

On peut donc s'attendre à avoir, pour la crue et la décrue, des courbes de tarage très différentes. A la crue, le débit restera à peu près proportionnel à la hauteur puisque, en première approximation, la vitesse paraît alors constante, ce qui se traduira par une ligne droite. A la décrue, au contraire, il faut s'attendre à voir le débit décroître d'abord très vite avec la hauteur, presque "verticalement", en compensation la courbe présentera ensuite une partie très peu inclinée, mais au cours des dernières phases de la décrue, elle s'inclinera de nouveau au moment où la vitesse sera suffisamment ralentie pour que le sable commence à se déposer. En définitive, on obtient, pour une crue déterminée, une courbe présentant un point d'inflexion et raccordée en haut à une droite (correspondant elle-même à la crue) ce qui ne ressemble guère aux courbes de tarage habituelles (voir graphique 6, schéma de principe).

- SCHÉMA DE PRINCIPE DU TARAGE D'UNE CRUE SIMPLE -



c) - Exécution des jaugeages :

Les travaux de jaugeage ont été très pénibles.

L'expérience de la première campagne de Mars à Mai avait montré qu'il fallait compter sur la présence d'au moins deux opérateurs européens pour faire un travail utile et qu'il était malheureusement indispensable de travailler de nuit les crues de jour étant les moins fréquentes. Il fallait également que le matériel soit à pied d'oeuvre avec une rapidité telle qu'on a dû l'entreposer dans une dépendance au Stade ÉBOUÉ. L'hydrologue préposé à sa mise en place dut y installer son gîte tandis que tout le personnel restait dans un état d'alerte ininterrompu et une tension d'esprit continuelle.

Beaucoup de jaugeages eurent lieu sous la pluie. Le tableau des hydrologues, trempés jusqu'aux os, agrippés à une passerelle ruisselante, menacés d'être entraînés par la perche plongée dans un courant bourbeux passant à plus de 3 m/sec, est facile à imaginer.

A la crue, le jaugeage au moulinet s'est révélé impossible; à peine celui-ci est-il immergé qu'il est bloqué par la boue, le sable, les herbes, etc. Or, le jaugeage au flotteur n'est praticable que de jour. On ne s'étonnera donc pas que les jaugeages de crue soient peu nombreux. On s'est donc attaché surtout à l'étude de la décrue qui constitue d'ailleurs la partie la plus importante de l'ensemble.

Les mesures de débits n'ont pu être menées selon les procédés habituellement utilisés pour les jaugeages courants. La durée d'un jaugeage régulier correspondrait à de trop grandes variations de hauteur.

Dans la plupart des cas, les mesures de vitesse ont été effectuées par verticales, chaque verticale étant rapportée à un instant, donc à une hauteur bien déterminée. L'opérateur passait sans interruption d'une verticale à une autre en se déplaçant le long de la passerelle et recommençait la série de verticales lorsqu'il était arrivé à l'extrémité de la passerelle.

A chaque station et à côté du limnigraphe une passerelle a été construite; elle portait plusieurs repères (10 à la M'FOA - 7 à la OÜENZÉ) caractérisant chaque "verticale" de mesure. On prenait habituellement la vitesse au fond et au voisinage de la surface. Pour les très hautes eaux on faisait souvent une mesure intermédiaire. Simultanément, on notait l'heure et - accessoirement - la hauteur à l'échelle. En effet, celle-ci est toujours, sauf pour les très basses eaux où il y a évidemment accord, supérieure à celle qui est indiquée par le limnigraphe, la différence variant dans le même sens que la vitesse de l'eau, celle-ci étant due à d'inévitables remous et pouvant atteindre 20 cm.; la lecture de l'échelle "à vue" est d'ailleurs beaucoup moins précise que celle du graphique, surtout la nuit. Les hauteurs étaient donc relevées sur le diagramme du limnigraphe. Bien entendu, la correspondance hauteur de limnigraphe - hauteur à l'échelle, était soigneusement contrôlée à la fin de la décrue.

#### d) - Interprétation des résultats :

Pour chaque verticale, il a fallu tracer la courbe des débits élémentaires en fonction des hauteurs (courbes des P.U.), c'est-à-dire des surfaces des paraboles de vitesses. Les P.U. étant obtenues pour des cotes déterminées et pour un assez grand nombre de verticales, il était possible de déterminer le débit total à chaque instant; on était ramené aux conditions habituelles. Nous avons ainsi obtenu une série de courbes de tarage (à la décrue) correspondant chacune à une averse.

La présence d'un point d'inflexion sur les courbes de tarage est rapidement apparue; il y en aurait même deux sur la OÜENZÉ, ce qui n'est d'ailleurs pas invraisemblable: il est concevable que le dépôt de sable se fasse en deux temps. Mais bientôt on s'est rendu compte qu'il ne suffisait pas de faire intervenir seulement la hauteur de l'eau. Des débits très différents ont été mesurés pour la même hauteur, le phénomène étant surtout sensible à la M'FOA où ils peuvent aller du simple au triple. Il était donc indispensable d'établir une loi plus compliquée, faisant intervenir un autre paramètre permettant de relier entre elles les diverses courbes de tarage affines, obtenues pour diverses décrues et convergeant vers le point d'étiage.

Il n'a jamais été question de mesurer la pente. Les deux cours d'eau présentent toutes sortes d'accidents (pentes rapides, ponts, etc...) et sont trop courts pour que ce soit possible. La vitesse de décrue n'est pas non plus un paramètre simple et sa seule intervention conduit de prime abord à de véritables absurdités qu'il paraît malaisé de surmonter.

Nous nous sommes trouvés là devant un problème aussi ardu qu'important et qu'il n'a été possible de résoudre par empirisme qu'après bien des tâtonnements.

Pour la crue simple, précédemment décrite, le régime permanent n'est jamais atteint tant à la crue qu'à la décrue. La courbe de tarage en régime permanent ne pourrait être atteinte que pour une crue différente présentant un palier de très longue durée. Elle aurait sans doute une concavité moins prononcée que celle des courbes expérimentalement construites; cette courbe théorique aurait l'allure d'une parabole semi-cubique et serait située bien au-dessus de celles-ci.

#### e) - Coefficient de tarage :

Plus la crue est brutale, plus elle atteint une hauteur élevée et plus le "coup de frein" est violent et la courbe de tarage à la décrue s'en trouve d'autant plus incurvée et descendue vers les faibles débits. Il semble que le facteur qui permet de repérer le plus aisément l'amplitude de ce phénomène serait un coefficient en rapport direct avec la violence du ruissellement. Le plus simple est le quotient entre la hausse maximum de niveau à la station de mesure et la hauteur moyenne de pluie tombée sur le bassin versant correspondant. Plus cette valeur est grande, plus l'engorgement est sensible et plus la courbe de tarage est basse. On est ainsi arrivé à graduer les courbes de tarage-décrue. Le "coefficient de tarage" a été calculé en évaluant les deux grandeurs en question respectivement en cm. et mm. Il tient compte implicitement de l'intensité de la pluie et du degré d'imbibition du sol et aussi de l'engorgement de la rivière. D'autres coefficients seraient peut-être mieux adaptés, mais tous les facteurs conditionnels du ruissellement sont très

difficiles à chiffrer et, si on y arrivait, il faudrait encore examiner en quelle proportion ils doivent intervenir.

Pour une crue donnée, le coefficient conduit à adopter une certaine courbe de tarage-décru, qui donne, pour la hauteur maximum, le débit de pointe. Le point représentatif est réuni à celui de l'étiage par une droite que l'on prend comme courbe de tarage-crue (graphique 6).

Le problème semble donc en bonne voie de résolution pour les crues les plus simples. Pour celles qui présentent des paliers ou des recrudescences, il reste encore assez délicat.

Pour ces crues complexes, nous avons essayé d'établir des règles empiriques de calcul du coefficient de tarage qui semblent en accord avec les résultats de nos mesures. L'exposé des méthodes employées sortirait du cadre de cette note.

Les graphiques N° 7 et 8 représentent les courbes de tarage à la décrue.

On constate que le faisceau de ces courbes de tarage est beaucoup plus étalé pour la M'FOA que pour la OUENZÉ, ce qui serait en relation avec leurs pentes respectives bien plus grande pour la première. Pour la OUENZÉ il semble qu'une sorte de régime semi-permanent donné s'établisse plus facilement pour une crue donnée dans la mesure où celle-ci n'est pas trop tourmentée. Le 4 Novembre et le 11 Décembre, deux crues comparables de cette rivière jaugées sur de grands intervalles ont donné la même courbe de tarage traduisant une correspondance univoque entre la hauteur et le débit pour les deux décrues et la deuxième crue.

#### g) - Débits limites :

Nous avons vu plus haut que la courbe de tarage idéale en régime permanent aurait, en l'absence de tout dépôt de sable, la forme d'une parabole semi-cubique. Ceci ne resterait vrai qu'en dessous de cotes, mesurées au limnigraphe, variant approximativement de 0,60 à 0,85 à la M'FOA et de 1,00 à 1,15 à la OUENZÉ selon les vitesses de l'eau.

Pour les hauteurs supérieures, les pertes de charge s'accroissent brusquement de façon considérable, principalement en raison de la présence de ponts à l'aval de la station. La courbe de tarage théorique s'infléchirait et tendrait vers une asymptote horizontale dont l'ordonnée représente le maximum de débit que la rivière peut évacuer. Les faisceaux de courbes de tarage réelles subissent le même sort et s'infléchissent vers la droite sous cette asymptote : le niveau monte et le débit augmente de moins en moins, la vitesse se trouverait ralentie à la station de jaugeage à partir de 1,05 environ à la M'FOA et 1,30 à la OUENZÉ. Les courbes de tarage se resserrent dans cette région et on obtient en définitive une sorte de fuseau, rappelant les courbes d'hystérésis étudiées en magnétisme.

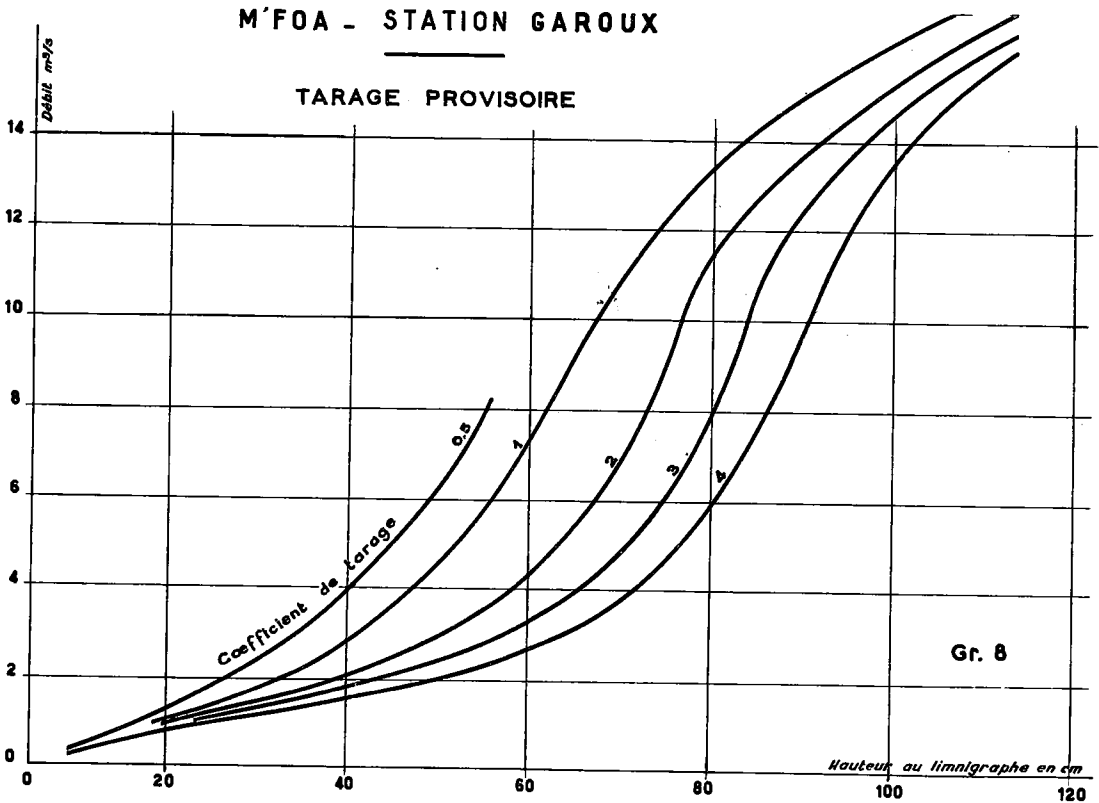
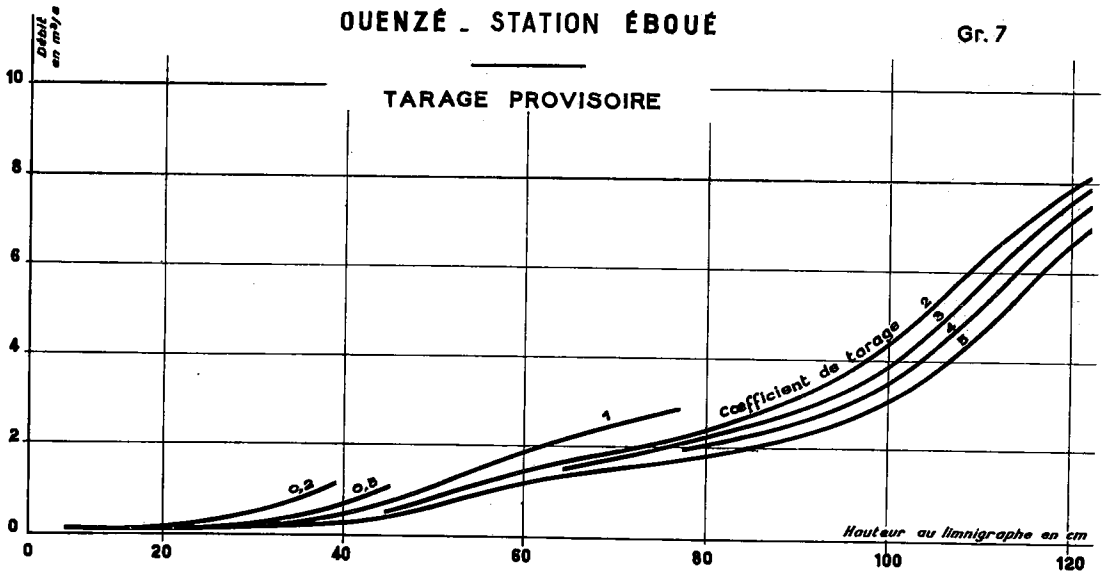
Pour des hauteurs d'eau encore plus grandes, la rivière passe par dessus les ponts, sort de son lit et la courbe de tarage est encore modifiée; elle se redresserait très sensiblement.

#### h) - Résultats généraux :

Les mesures de la seule campagne Octobre-Décembre ont permis de construire 70 paraboles de vitesses pour la OUENZÉ, 84 pour la M'FOA, chaque groupe ayant donné 11 "jaugeages" précis pour la rivière correspondante. A cela, il faut ajouter pour chacune trois séries de jaugeages au flotteur à des hauteurs variables aux basses eaux et en pleine crue. Ces mesures ont permis la construction des courbes de tarage données ci-contre et utilisées dans la suite de l'étude et l'étude qualitative du régime exposée ci-dessus. La complexité des phénomènes a dépassé les pronostics les plus pessimistes. On ne s'attendait pas à voir toutes les difficultés se multiplier en travaillant à petite échelle. Nous devons d'ailleurs faire quelques réserves sur nos réseaux de courbes de tarage. Il y aurait lieu d'examiner si certaines vérifications ne restent pas à faire, notamment en ce qui concerne le calcul du coefficient pour les crues complexes. On constate également que le débit de pointe et, en conséquence, la courbe de tarage-crue, sont très souvent déterminés sur les parties les plus inclinées des courbes et dans la région où elles sont le plus espacées. Ces conditions sont défavorables à la précision du travail.

Une ou deux campagnes de mesures complémentaires semblent indispensables. Bien entendu, l'aménagement d'un déversoir aurait simplifié les mesures de débit. Un tel déversoir n'a été possible que sur MAKÉLÉKÉLÉ; sur la M'FOA et la OUENZÉ, sur lesquelles les ponts sont insuffisants et la pente trop faible, la construction du moindre ouvrage de ce genre n'aurait pu qu'augmenter les risques d'inondation. Encore doit-on noter que la charge plus ou moins importante des eaux, la variation d'épaisseur du dépôt de sable dans le chenal précédant le déversoir, l'évaluation de la vitesse d'approche auraient nécessité des jaugeages continus. Cependant, les courbes de tarage seraient beaucoup plus resserrées.

En ce qui concerne les débits limites que peuvent évacuer les ouvrages, nous pensons que dans son état actuel la M'FOA ne pourrait que difficilement évacuer 20 m<sup>3</sup>/sec. à la station de mesure en raison du pont situé immédiatement à l'aval. Quant à la OUENZÉ, elle pourrait dépasser 12 m<sup>3</sup>/s. Ces chiffres n'ont pas été atteints au cours des crues



observées. Cependant, d'ores et déjà, il semble que les ouvrages construits sur ces deux rivières soient très "justes", surtout sur la M'FOA.

### V - ÉTUDE DE QUELQUES CRUES

Six averses parmi les plus intenses ont fait l'objet de dépouillements complets. Nous donnons, ci-contre, d'une part la carte des isohyètes relative à l'une de ces averses, d'autre part, deux hydrogrammes correspondant à la M'FOA et la OUENZÉ.

Au-dessus de chaque hydrogramme, on trouve le hyétogramme moyen qui doit lui être associé. Les ordonnées sont graduées de bas en haut pour la courbe de débit en m<sup>3</sup>/sec. et en mm/heure, c'est-à-dire en hauteur d'eau ruisselée. Les ordonnées du hyétogramme moyen sont graduées de haut en bas en mm/heure, mais l'échelle est différente; l'échelle des temps est la même, bien entendu, pour les deux diagrammes.

Les réactions de la M'FOA sont assez nettes et marquées. Les maxima et minima peuvent être situés avec une précision relative. Si les décrues sont assez longues, on y observe généralement une cassure qui marquerait la fin du ruissellement proprement dit, le reste de l'eau parvenant ensuite à la rivière étant dû au ruissellement hypodermique.

Les hydrogrammes de la OUENZÉ sont beaucoup plus mous, les pentes en sont moins fortes et les décrues sont encore plus longues. Les cassures sont à peu près inexistantes.

Nous avons placé au mieux les points marquant la fin du ruissellement à l'aide des cassures ou en comptant un temps, paraissant convenable, après la fin de la pluie.

a) - Résultats numériques :

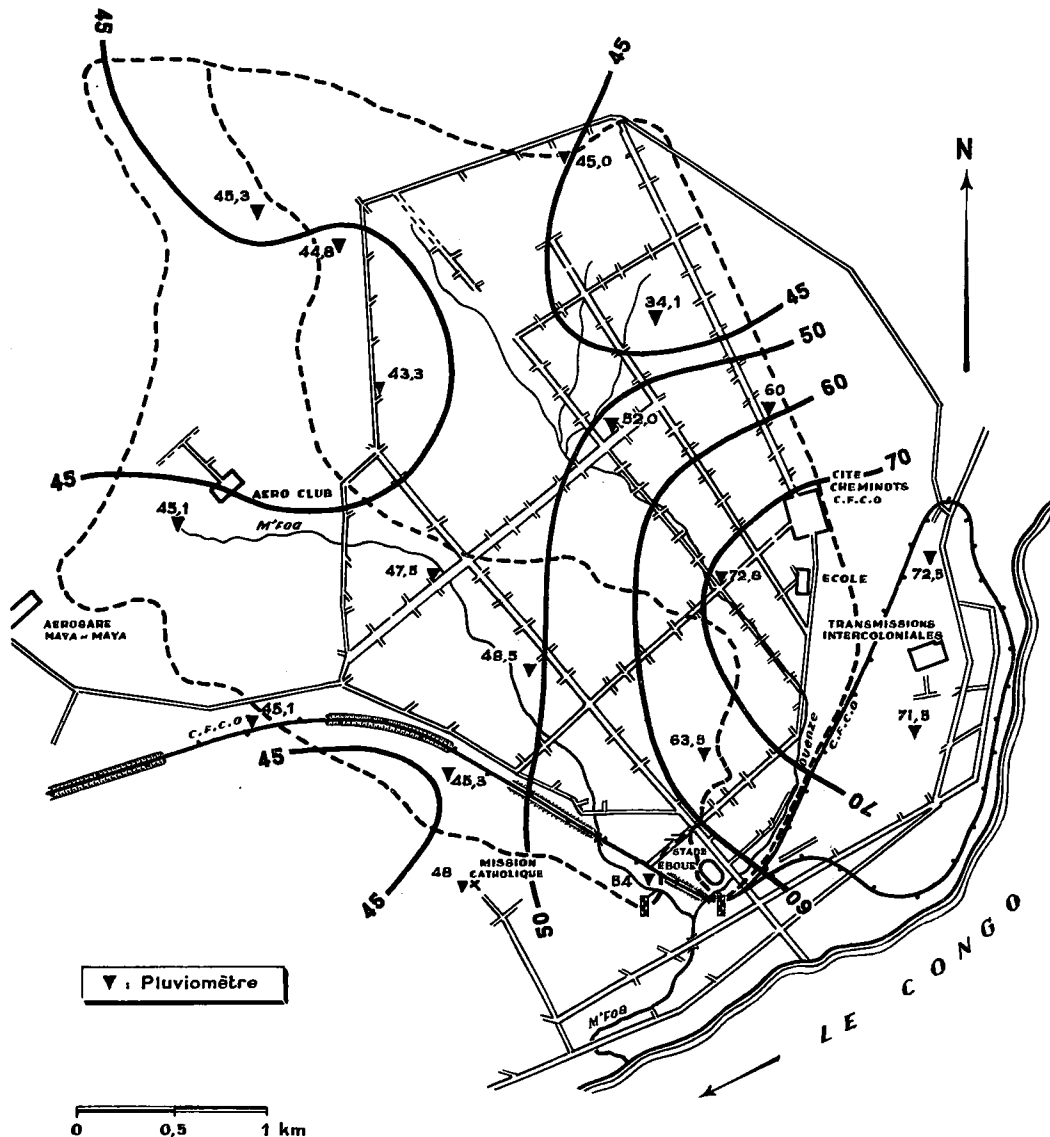
Le tableau récapitulatif (page 63) donne les résultats obtenus, on y a ajouté le débit de pointe de quelques autres crues de la première campagne.

Gr. 9

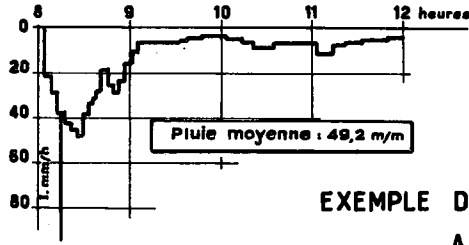
## BASSINS VERSANTS DE LA M'FOA ET DE LA OUENZÉ

Pluie du 11 Décembre 1954

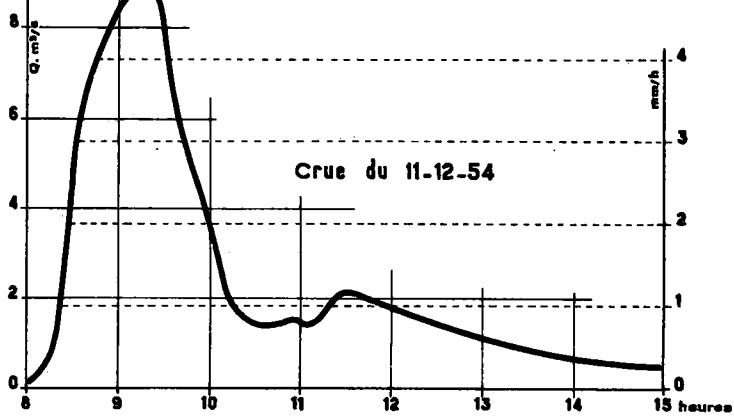
COURBES ISOHYETES



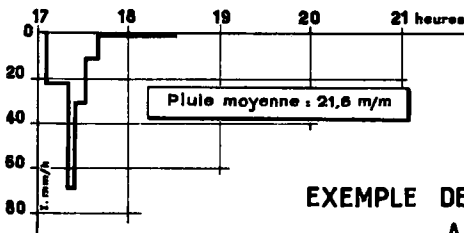
Gr. 10



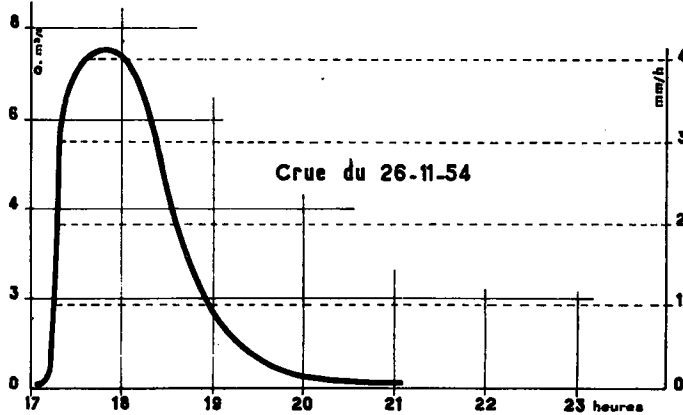
EXEMPLE DE CRUE DE LA M'FOA  
A GAROUX



Gr. 11



EXEMPLE DE CRUE DE LA OUENZÉ  
A ÉBOUÉ



**TABLEAU D'OBSERVATIONS ET CARACTÉRISTIQUES DES CRUES**

| Crue<br>N° | Date<br>de la<br>crue | M'FOA ( 6,3 km <sup>2</sup> )           |                 |                 |                 |               |                              |              |                    |                              | OUENZÉ ( 6,7 km <sup>2</sup> )          |                 |                 |                 |               |                              |              |                    |                              |
|------------|-----------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------------------|--------------|--------------------|------------------------------|---|-----------------|-----------------|-----------------|---------------|------------------------------|--------------|--------------------|------------------------------|
|            |                       | PLUIES                                  |                 |                 |                 | CRUES         |                              |              |                    |                              | PLUIES                                  |                 |                 |                 | CRUES         |                              |              |                    |                              |
|            |                       | Vp<br>(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) | P. max<br>(m/m) | P. moy<br>(m/m) | K<br>abattement | H(cm)<br>max. | Q(m <sup>3</sup> /s)<br>max. | VE<br>écoulé | VE/γ<br>écoulement | R<br>ruisselet <sup>nt</sup> | Vp<br>(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ) | P. max<br>(m/m) | P. moy<br>(m/m) | K<br>abattement | H(cm)<br>max. | Q(m <sup>3</sup> /s)<br>max. | VE<br>écoulé | VE/γ<br>écoulement | R<br>ruisselet <sup>nt</sup> |
| 13         | 29-3                  | 176                                     | 42,5            | 28,0            | 0,66            | 38            |                              |              |                    |                              | 156                                     | 31,5            | 23,3            | 0,60            |               |                              |              |                    |                              |
| 14         | 30-3                  | 488                                     | 87,0            | 78,6            | 0,80            | 48            |                              |              |                    |                              | 504                                     | 95,0            | 75,3            | 0,78            |               |                              |              |                    |                              |
| 14b        | 30-3                  |   |                 |                 |                 | 121           | 18,0                         |              |                    |                              |   |                 |                 |                 |               |                              |              |                    |                              |
| 16         | 8-4                   | 310                                     | 68,4            | 49,2            | 0,71            | 77            |                              |              |                    |                              | 357                                     | 70,1            | 53,3            | 0,76            | 115           |                              |              |                    |                              |
| 17         | 15-4                  | 234                                     | 47,5            | 37,2            | 0,78            | 70            | 5,50                         |              |                    |                              | 265                                     | 44,0            | 89,6            | 0,90            | 105           | 5,50                         |              |                    |                              |
| 18         | 15-4                  | 118                                     | 23,9            | 18,7            | 0,78            | 58            | 9,70                         |              |                    |                              | 118                                     | 23,9            | 18,7            | 0,78            | 95            |                              |              |                    |                              |
| 22         | 26-4                  | 160                                     | 35,2            | 25,4            | 0,72            | 41            | 3,30                         |              |                    |                              | 147                                     | 30,4            | 21,9            | 0,72            | 81            | 2,70                         |              |                    |                              |
| 23         | 28-4                  | 28                                      | 9,8             | 4,5             | 0,46            | 25            | 0,75                         |              |                    |                              | 46                                      | 12,6            | 6,9             | 0,54            | 53            | 0,80                         |              |                    |                              |
| 24         | 29-4                  | 101                                     | 20,8            | 16,0            | 0,77            | 19            |                              |              |                    |                              | 91                                      | 19,3            | 13,6            | 0,70            | 41            |                              |              |                    |                              |
| 26         | 1-5                   | 267                                     | 48,4            | 42,4            | 0,85            | 77            | 12,70                        |              |                    |                              | 310                                     | 55,0            | 46,3            | 0,84            | 107           | 6,30                         |              |                    |                              |
| 28         | 7-5                   | 108                                     | 21,7            | 17,1            | 0,78            | 27            |                              |              |                    |                              | 116                                     | 21,4            | 17,3            | 0,81            | 55            |                              |              |                    |                              |
| 29         | 8-5                   | 105                                     | 20,3            | 16,7            | 0,82            | 40            |                              |              |                    |                              | 73                                      | 18,3            | 11,9            | 0,68            | 57            |                              |              |                    |                              |
| 31         | 14-5                  | 65                                      | 17,7            | 10,3            | 0,58            | 38            |                              |              |                    |                              | 82                                      | 17,3            | 12,2            | 0,70            | 42            |                              |              |                    |                              |
| 32         | 15-5                  | 92                                      | 20,3            | 14,6            | 0,72            | 35            |                              |              |                    |                              | 128                                     | 23,5            | 19,1            | 0,81            | 70            |                              |              |                    |                              |
| 33         | 22-5                  | 108                                     | 31,6            | 17,1            | 0,54            | 60            | 3,20                         | 10,3         | 0,10               | 5%                           | 109                                     | 31,6            | 16,3            | 0,51            | 88            | 3,00                         | 15,9         | 0,15               | 7%                           |
| 42         | 4-11                  | 284                                     | 56,5            | 45,1            | 0,80            |               | 6,40                         |              |                    |                              | 306                                     | 61,5            | 45,7            | 0,74            | 112           | 6,16                         |              |                    | 7%                           |
| 43         | 5-11                  | 151                                     | 28,8            | 24,0            | 0,82            |               | 4,40                         | 27,3         | 0,18               |                              | 129                                     | 32,3            | 19,3            | 0,59            | 75            | 2,75                         | 20,9         | 0,16               |                              |
| 45         | 15-11                 | 170                                     | 45,0            | 27,0            | 0,60            | 77            | 7,60                         | 31,3         | 0,18               | 12%                          | 181                                     | 43,0            | 21,5            | 0,50            | 118           | 6,48                         | 31,8         | 0,21               | 12%                          |
| 49         | 25-11                 | 111                                     | 25,5            | 17,5            | 0,68            | 18            |                              |              |                    |                              | 100                                     | 30,4            | 15,0            | 0,48            | 29            |                              |              |                    |                              |
| 50         | 26-11                 | 126                                     | 42,0            | 20,0            | 0,47            | 85            | 7,75                         | 34,0         | 0,27               | 18%                          | 145                                     | 42,0            | 21,6            | 0,51            | 125           | 7,70                         | 37,4         | 0,26               | 16%                          |
| 54         | 11-12                 | 310                                     | 70,7            | 49,2            | 0,68            | 72            | 9,20                         | 60,7         | 0,19               | 8%                           | 349                                     | 75,0            | 52,0            | 0,69            | 128           | 8,46                         | 74,3         | 0,21               | 10%                          |

Nous n'avons pas cherché à calculer le volume total écoulé jusqu'au retour au débit de base; les volumes écoulés que nous donnons sont limités au temps de ruissellement effectif, temps déterminé ainsi qu'il a été dit plus haut; ils comprennent le ruissellement brut, total du débit de base, du ruissellement hypodermique (presque négligeable) et du ruissellement proprement dit pendant ce temps. Nous rappelons que le tarage actuellement utilisé est provisoire; on comprendra donc que les résultats que nous donnons ici soient très approximatifs.

Les coefficients de ruissellement paraissent variables, allant de 9 à 27 % (moyenne 18,5 % environ) pour la M'FOA et de 15 à 26 % (moyenne 20 % environ) pour la OUEZÉ. Nous noterons que pour chaque averse, ils présentent des valeurs voisines sur les deux cours d'eau. Ceci est normal et constitue une vérification réconfortante de nos laborieuses opérations de dépouillement. Les débits de pointe sont systématiquement plus grands à la M'FOA.

La différence serait donc faible entre les coefficients de ruissellement global, mais sensible entre les débits de pointe. Ceci est une conséquence de la morphologie, assez différente, comme nous l'avons vu, pour les deux bassins.

Le ruissellement est favorisé à la OUEZÉ par la plus grande proportion de surface habitée et une forte pente à l'amont. Mais toute la partie moyenne et aval de l'écoulement se faisant en terrain plat, les variations brusques se trouvent amorties à la station de mesure.

Le bassin de la M'FOA présente au Nord une partie assez plate et couverte de végétation qui ne doit guère donner lieu à un ruissellement véritable, d'où un coefficient global plus faible. Mais en moyenne les pentes sont tout de même plus grandes que sur la OUEZÉ; elles sont aussi réparties d'une façon propice à l'accélération de la vitesse d'écoulement: le lit de la M'FOA est tout entier en bordure du plateau. D'autre part, la colline dite "du Relais" est proche de la station de jaugeage et le ruissellement doit y être considérable.

On conçoit que les débits de pointe soient plus grands sur la M'FOA et que cette différence s'accroisse avec la violence de la crue.

#### b) - Crues exceptionnelles :

S'il est difficile de donner des résultats numériques sûrs, il est encore plus prématuré de se lancer dans des calculs de prévision.

La crue observée la plus forte est celle du 20 Mars, enregistrée seulement à la M'FOA. Elle aurait donné en pointe 18 m<sup>3</sup>/sec., soit un débit voisin du maximum qui peut être évacué à la station de jaugeage. Ceci représente déjà 2 860 l/sec/km<sup>2</sup>.

Malgré les actuelles incertitudes de notre étude, il nous semblerait déraisonnable d'évaluer le débit de pointe annuel maximum à moins de 3 000 l/sec/km<sup>2</sup>.

L'application de la méthode des hydrogrammes unitaires paraît délicate, par suite des allures nettement différentes des hyétogrammes aux divers points du bassin et des difficultés de tarage. Des observations plus nombreuses seraient nécessaires.

Nous avons pourtant essayé et pour les crues observées les résultats seraient acceptables à première vue. Ainsi le débit de pointe calculé pour la crue du 30 Mars (voir plus haut) serait de 20,5 m<sup>3</sup>/sec. à la M'FOA (17,8 m<sup>3</sup>/sec. à la OUEZÉ).

En prenant comme pluie exceptionnelle celle qui a été observée par la météo., le 16 Novembre 1940 et dont nous avons retrouvé l'enregistrement (80 mm. sont tombés en 40 mn.), on trouve un résultat dépassant de très loin les possibilités d'évacuation actuelles. Le débit de pointe d'une telle crue serait environ trois fois supérieur à celui de la crue annuelle. Nous donnons ce dernier résultat - si extravagant qu'il paraît douteux - avec les plus grandes réserves. En fait, un tel débit ne pourrait pas parvenir à la station de mesure dans les conditions actuelles, car il y a plusieurs ponts à l'amont et l'inondation se trouverait répartie sur une certaine longueur du parcours. Par contre, il pourrait se produire si l'ensemble de la rivière était aménagé de façon qu'elle ne connaisse aucun débordement.

## CONCLUSIONS

L'étude de la pluie sur nos bassins versants n'est pas très avancée. Elle révèle pourtant déjà que l'hétérogénéité des précipitations peut être considérable et que les irrégularités sont d'autant plus grandes que l'on considère des durées plus courtes. Ceci entraîne des difficultés sérieuses dans la construction et l'utilisation des hyétogrammes. Il est certain que les plus grandes pluies étudiées n'ont rien d'exceptionnel, nous serions même plutôt tentés de croire que la moyenne de toutes nos pluies et les valeurs des maxima sont plutôt faibles.

Le tarage des stations de mesure a été très délicat. Il aurait besoin d'être confirmé.

Il en résulte que les évaluations de débits de crue, donnés plus haut, ne peuvent être encore qu'incertaines. Il semble pourtant que le ruissellement total soit plus grand à la



OUENZÉ qu'à la M'FOA. En contrepartie, les débits de pointe doivent être presque toujours plus grands à la M'FOA. Avec de très grandes pluies, la M'FOA pourrait devenir dangereuse et provoquer une inondation qu'il ne nous est pas possible de délimiter. En tous cas, les ouvrages construits actuellement sur son lit ne permettraient pas d'évacuer les débits exceptionnels. La OUENZÉ est une rivière plus calme, mais également susceptible de causer des inondations. Une grande partie du bassin étant assez plate, il se pourrait qu'avec un débit moindre à évacuer les dégâts soient supérieurs.

D'autre part, en tout état de cause, les débits de crue exceptionnels sont très supérieurs à ceux qui ont été avancés jusqu'ici; on atteint de façon absolument courante 3 000 l/sec/km<sup>2</sup>. La crue susceptible de se produire une fois en 20 ans serait peut-être de l'ordre du double ou du triple de cette valeur.

Dans le cas où les progrès de l'urbanisme (goudronnage de rues, accroissement du nombre de maisons en "dur", pavage ou cimentage de cours, etc.) favoriseraient le ruissellement, les volumes écoulés et surtout les débits de pointe pourraient atteindre des valeurs plus considérables encore que celles que nous avons envisagées.

Il convient pourtant de donner sur ce problème des précisions supplémentaires que la poursuite du dépouillement de nos documents et surtout deux campagnes de mesures complémentaires permettront d'obtenir. On pourra alors, avec plus de sûreté, aborder des opérations statistiques et des calculs de prévision.