

ÉTUDE SUR MODÈLE RÉDUIT DU RUISSELLEMENT S'ACCOMPLISSANT DANS UN BASSIN VERSANT

Prof. E. NÉMETH

(Hongrie)

RÉSUMÉ

Les recherches dont il est question dans cette étude ont pour but la détermination des caractéristiques individuelles de bassins versants à l'aide d'observations sur des modèles à échelle réduite. On se propose de déterminer les relations régissant l'hydraulique de la concentration en comparant les résultats expérimentaux entre eux et aussi les paramètres de la rivière naturelle.

Les problèmes soulevés par cette tâche sont de deux sortes : ceux de principe et ceux de technique. Les premiers se rapportent à la question fondamentale suivante : comment et dans quelle mesure des conclusions peuvent-elles être déduites pour la rivière naturelle, des observations faites sur le modèle. Les problèmes techniques concernent la sélection de l'aire de drainage, la choix de l'échelle adéquate pour le modèle et les instruments nécessaires aux observations. L'étude est complétée par un exposé des essais effectués sur le modèle d'un petit bassin ondulé.

SUMMARY

The investigations reported in this study aim at the determination of the individual characteristics of river basins by way of observations on scale-models. It is desired to disclose relationships governing the hydraulics of accumulation by comparing experimental results between itself and with parameters of the life-size river basin.

The problems arising from this task are of two different kinds, that is those of principle ones and those of technical ones. The formers refer to the fundamental question : how and to what extent can be drawn conclusions for life-size river basin from the observations performed on its scale-model. The technical problems concern the selection of the actual drainage area, the choice of the adequate scale for the model and the instruments needed for the observations.

The study is completed by an account of tests performed on the model of a small hilly drainage area.

Parmi les problèmes les plus importants de l'hydrologie fluviale figurent aussi ceux qui touchent aux lois à découvrir sur le ruissellement des eaux de pluie tombées sur un bassin versant. Malheureusement l'étude théorique du phénomène de la concentration des eaux dans un bassin — à cause de la multiplicité des facteurs influant sur le ruissellement, ainsi que par suite de la complexité des interactions en jeu parmi ces facteurs — ne s'avère pas assez efficace à l'heure actuelle. D'autre part les recherches basées sur des observations faites en nature sont longues et onéreuses et les résultats obtenus ne sont applicables qu'en cas de bassins ayant les mêmes propriétés caractéristiques. On comprendra, sans commentaire, qu'il est de la plus haute importance de vérifier si la méthode des expériences sur modèle réduit — appliquée avec tant de succès dans les recherches hydrodynamiques — est applicable ou non à l'examen scientifique du phénomène de la concentration des eaux météoriques ?

En soulevant cette question, des objections se présentent venant du nombre d'obstacles à surmonter ! Vraiment, est-il possible de faire valoir, dans un modèle réduit, les dispositions naturelles et multiformes des bassins versants ? Le phénomène de ruissellement se produisant dans la nature et celui s'adaptant au modèle présentent-ils une telle affinité qu'on puisse découvrir une corrélation entre les quantités homologues des deux phénomènes ? Bon nombre de questions de ce genre pourraient être posées qu'on ne peut considérer comme encourageantes.

Cependant de telles objections se présentèrent aussi dans le cas de l'expérimentation hydraulique sur modèle réduit et pourtant celle-ci s'avéra propre à fournir des résultats bien utilisables. Il est vrai que les difficultés à vaincre sont plus grandes dans le cas des bassins versants que dans celui des problèmes hydrauliques, toutefois — au moins en principe — la possibilité d'un succès existe certainement, surtout si on n'attend des réponses exactes qu'aux questions bien choisies et exactement formulées. Il est imaginable par exemple qu'ayant découvert une relation valable entre certaines quantités mesurables sur le modèle, celle-ci se vérifiera aussi entre les quantités homologues du prototype (c'est-à-dire du bassin naturel), sous la réserve de permettre une modification dont le degré dépend de l'échelle du modèle, et cela en dépit du fait qu'on ne peut constater une exacte similitude dynamique entre le modèle et son prototype.

Le fait bien connu que les expériences effectuées sur modèle réduit pour constater le colmatage des baies et des ports maritimes de superficie notable, ainsi que pour vérifier l'efficacité des dispositifs brise-lames, ont fourni des résultats largement utilisables, plaide en faveur d'une telle suggestion. Ce fait démontre en effet qu'une réduction superficielle — même celle à une vaste échelle — ne compromet pas infailliblement l'efficacité de l'expérimentation sur modèle réduit.

Les considérations exposées ci-dessus ont encouragé l'auteur à inaugurer en 1957 des recherches sur un modèle réduit construit pour ce but spécial. Les essais furent entrepris à Nagymaros auprès du laboratoire en plein air de la Chaire d'Hydraulique N° 1 de l'Université des Sciences Techniques de Bâtiments et des Transports de Budapest. On a façonné là le modèle à l'échelle 1 : 35 d'un bassin versant ondulé, qui a servi de bassin représentatif de la Station de Mesure d'Érosion de l'Institut de Recherches Forestières. Sur ce modèle furent étudiés les phénomènes de ruissellement dus aux eaux de pluies artificielles d'intensités différentes (1, 3).

Pour atteindre le but qu'on s'est proposé, il est nécessaire de :

- 1) constater s'il est possible d'arriver, au moyen d'expériences sur modèle réduit, aux conclusions utilisables dans la théorie et dans la pratique concernant le ruissellement ?
- 2) constater s'il est possible d'interpréter dans le domaine des phénomènes naturels les résultats obtenus sur le modèle réduit (résultats concernant le temps de concentration, les débits maxima se présentant à divers endroits du bassin, les dates de production de ces débits, etc.) au moyen d'un certain procédé de calcul, sinon par simple proportionnalité ?
- 3) équiper le modèle des instruments appropriés au but proposé et développer un procédé le plus expédient pour les expériences à exécuter.

Bien que jusqu'à présent nous ne soyons pas parvenus à comparer les phénomènes observés sur le modèle à ceux se produisant dans le bassin naturel, il nous semble à propos de donner — à titre indicatif — quelques renseignements sur ce bassin. C'est un pâturage ondulé d'une superficie de 5 hectares et caractérisé de différents types de couverture végétale (2). Le bassin est équipé de plusieurs pluviomètres et d'un déversoir du type Thomson situé à l'issue du bassin pour le jaugeage du débit de ruissellement.

La superficie du modèle réduit, correspondant à l'échelle de réduction, est de 40,2 m², la dénivellation maxima étant 1,8 mètres. Vu que jusqu'à présent on n'a pas encore effectué telle expérience, le modèle fut façonné sans distorsion. Pour faciliter les observations sur le modèle celui-ci fut surmonté d'un pont de manipulation dont la portée est de 7,2 m.

Dans la première phase des expériences, la surface du modèle en béton fut enduite uniformément de lait de ciment et par suite posséda une rugosité partout uniforme et lisse. Sur la surface du modèle sont marquées quelques lignes de niveau et, pour l'aide de la localisation, les sommets d'un réseau de carrés.

En raison des considérations relatives à la rugosité de la surface du modèle, on a pris la décision de choisir pour les pluies artificielles à employer au cours des études

— jusqu'à ce qu'on ait obtenu une expérience suffisante — des précipitations identiques aux plus fortes de celles observées dans le bassin naturel. En effet pour le choix de l'échelle des pluies on n'a pas encore une base rationnelle, sans laquelle on courrait le danger d'une réduction excessive, et la répartition uniforme du débit de pluie tellement faible serait impossible. En outre dans le cas de débits de pluie tellement faibles, le phénomène de ruissellement deviendrait essentiellement modifié par l'adhésion entrant en jeu à la surface plus ou moins rugeuse du modèle. À cet égard cependant, il est important de remarquer qu'en cas de recommencement des expériences, l'étude détaillée du problème de la rugosité sera indispensable. Pour le moment on devait se contenter de l'emploi d'une rugosité admise arbitrairement. On a choisi d'abord la même rugosité pour toute l'étendue du modèle, mais dans une phase ultérieure des recherches, la surface fut divisée en cinq parties et pour chacune d'elles, on admit une rugosité particulière, sans égard cependant aux conditions de rugosité du bassin naturel. On tiendra compte de celles-là sur la base de l'expérience à acquérir au moyen de l'étude mentionnée ci-dessus.

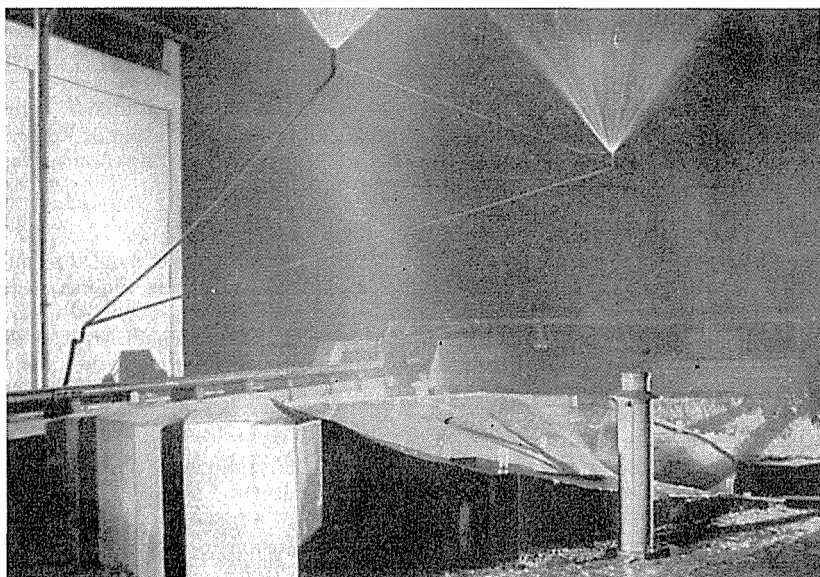


Fig. 1 — Le modèle en fonction au temps des observations nocturnes.

Pour produire des pluies artificielles d'intensité indiquée, on a besoin d'un dispositif d'aspersion conduisant à la distribution uniforme du débit d'eau. Après l'examen de nombreux types de pommes d'arrosoir et leur mise en place au-dessus du modèle, on a choisi un dispositif à deux dispositifs de répartition (voir fig. 1). Les deux pommes d'arrosoir sont situées à 3 m au-dessus du modèle à une distance de 7,5 m entre elles et elles fonctionnent sous une pression d'utilisation de $0,8 \sim 2,25$ atm. L'intensité de la pluie artificielle distribuée par elles varie entre $0,24 \sim 1,1$ mm/min, mesurée à la surface du modèle. Au cours des expériences il fallait tenir compte de la direction et de la vitesse du vent, parce que les vents, même les plus faibles, exercent une notable influence sur la distribution de la pluie artificielle et par conséquent sur le phénomène de la concentra-

tion des eaux de pluie. Cette constatation aboutit à la décision de ne faire les essais qu'après le coucher du soleil et habituellement au moment des accalmies nocturnes.

La distribution spatiale de la pluie tombée sur le modèle fut déterminée en faisant usage des 18 pluviomètres — de diamètre de 5 cm chacun — répartis à la surface selon les formes du relief (voir figs. 1 et 2).

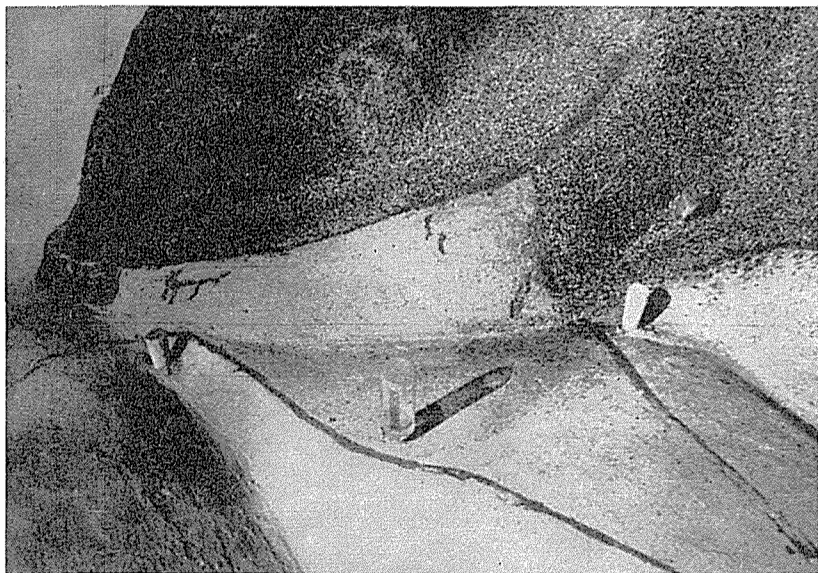


Fig. 2 — Détail de la partie basse de la surface du modèle. — Les lignes épaisses marquent les confins des bassins secondaires. Les surfaces secondaires F_1 et F_2 sont revêues rugueuses.

Le jaugeage du débit d'eau accumulé au point le plus bas du bassin, ainsi que l'enregistrement de la variation continue de celui-ci — d'une manière suffisamment précise — se présentent comme des exigences de la plus haute importance. Ainsi on a construit un dispositif composé d'un déversoir type Thomson et d'un enregistreur photographique enregistrant d'une manière continue la variation du niveau d'eau déversant (voir fig. 3). En effet l'enregistreur marque la hauteur de la lame déversante sur du papier photosensible se déroulant uniformément derrière la colonne d'eau colorée d'un tuyau piézométrique, raccordé à l'espace en amont du déversoir. Ainsi sur la bande de papier photosensible, se profilera en blanc la courbe caractéristique de la concentration des eaux météoriques (fig. 4).

Au début des essais, l'enregistreur fonctionna à la lumière naturelle; plus tard, quant à cause des circonstances expliquées précédemment on dut passer au travail nocturne, il fallut se servir de lumière artificielle. Alors se présenta l'occasion de couper par intervalles l'éclairage et de fixer par ce moyen des signes chronologiques sur le papier, tels que les deux raies blanches verticales visibles sur la figure 4.

Pour assurer une rotation uniforme du cylindre portant la bande du papier on employa d'abord un mécanisme d'horlogerie, lequel cependant n'a pas répondu à l'attente. C'est pourquoi on a utilisé plus tard un appareil à moteur électrique (fig. 5).

Les variantes étudiées au cours des recherches effectuées jusqu'à présent sont à classer en deux groupes :

- 1) la surface du modèle, constituée de béton enduit uniformément au lait de ciment, présentait une rugosité relativement faible;
- 2) la rugosité de la surface fut augmentée en y collant des grains de sable de dimensions comprises entre 1,0 et 2,5 mm au moyen de laque siccative. Les recherches cependant ne se sont pas bornées à l'étude du modèle dans son ensemble, mais ses bassins partiels — en d'autres termes les bassins secondaires — furent aussi étudiés isolément ou en groupe, soit en cas de rugosité faible, soit en cas de rugosité plus forte.

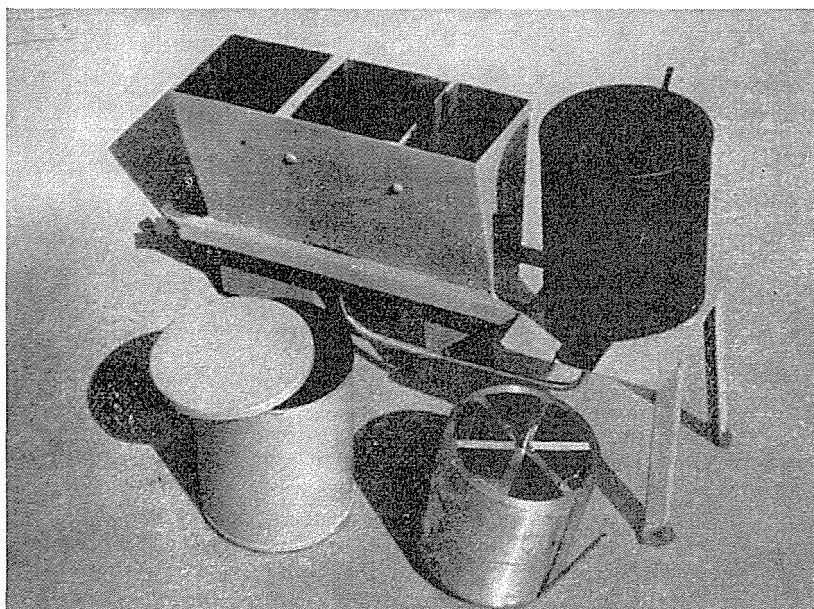


Fig. 3 — L'enregistreur de la variation des débits accumulés.

La figure 6 montre la division de la surface en bassins secondaires F_1 - F_5 .

Tant pour la surface totale que pour chacun des bassins secondaires, on détermina la courbe caractéristique du débit avec intensités diverses de pluie. La modification de la rugosité fut réalisée et étendue successivement sur les bassins secondaires et enfin sur la surface totale. La courbe caractéristique de concentration fut déterminée aussi dans les cas où d'abord seule la surface secondaire F_1 , puis les deux surfaces F_1 et F_2 , etc. étaient rendues rugueuses.

Les essais sur modèle réduit nous ont permis de vérifier le fait que le temps de concentration des eaux dans un bassin versant dépend aussi de l'intensité de la pluie et par suite est en corrélation aussi avec le débit maximum accumulé. Cette corrélation s'exprime par une équation du type $T_C \cdot Q_M = \text{const}$, dans laquelle T_C est le temps de concentration Q_M le débit maximum accumulé. À titre indicatif, on peut mentionner par exemple que si l'intensité de la pluie ou le débit est réduit aux deux tiers de sa valeur primitive, le temps de concentration est doublé.

Certes, le phénomène de la concentration des eaux de pluie sur la surface lisse du modèle se produit d'une manière bien différente de celle se réalisant sur les versants naturels, composés d'une série de pentes de rugosités variables d'un endroit à l'autre. De plus, sur les versants naturels, l'eau ne se meut pas seulement en forme de mince voile, mais aussi dans des rigoles creusées par l'érosion. Cependant la comparaison des observations montre que la variation du temps de concentration en fonction de l'intensité de la pluie peut être considéré comme ayant le même caractère dans la nature et dans le modèle.

En comparant les courbes de concentration provenant des essais sur le modèle à celle construite d'une manière théorique en se servant du plan topographique commun

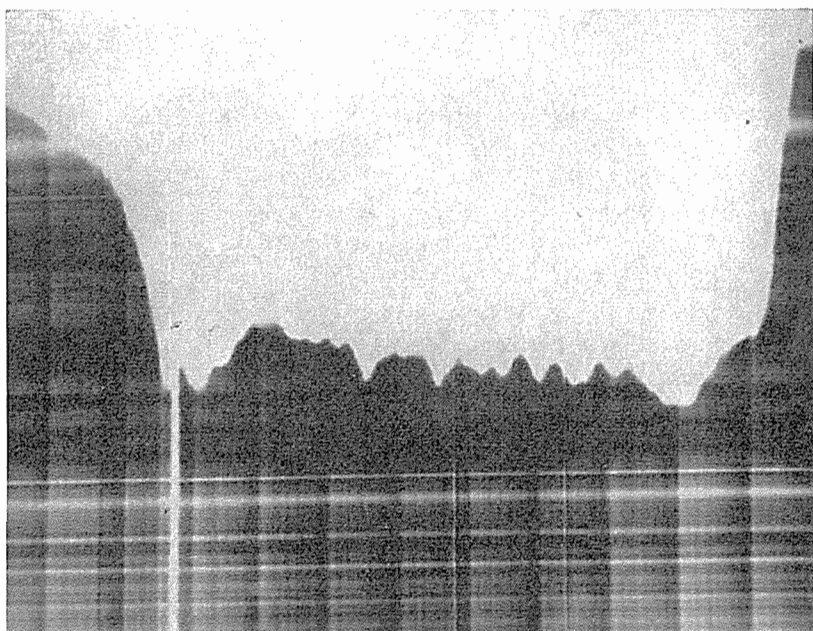


Fig. 4 — La courbe caractéristique de la concentration des eaux de pluie, produite par l'enregistreur.

du bassin naturel et du modèle, on remarque aussitôt une divergence essentielle. C'est que dans le cas de la courbe de concentration théorique, le point initial (celui de l'ordonnée $Q = 0$) et le point correspondant au commencement de la pluie coïncident et ont une abscisse commune $t = t_0$, tandis que dans les cas de courbes de concentration obtenues au moyen de l'appareil photo-enregistreur le point initial se produit à une abscisse $t'_0 > t_0$. C'est-à-dire que pendant l'intervalle de temps $t_0 = t'_0 - t_0$ bien que la pluie soit déjà commencée, aucun débit d'écoulement ne se produisait, parce que l'eau tombée était employée d'abord à mouiller la surface du modèle, et était donc retenue sur place et partiellement évaporée. Ce fait correspond à l'action de la couche superficielle du sol dans le cas du bassin naturel. L'intervalle t_0 ne comprend pas le temps de ruissellement, c'est-à-dire le temps que l'eau met pour arriver de son point de chute à la station de jaugeage. La somme du temps de ruissellement et de l'intervalle t_0 donne le *vrai temps de concentration*, dont nous avons fait usage dans nos calculs.

Au juste, les recherches expérimentales effectuées jusqu'à présent — à plus forte raison parce que cette expérimentation fut déjà longtemps interrompue à cause de tâches d'autre nature et plus urgentes — n'ont pu fournir des renseignements complets que sur certaines questions de l'ensemble des problèmes exposés au début de ce mémoire, lesquelles concernent l'établissement pratique des expériences et le développement des instruments nécessaires. Pour une comparaison entre les résultats sur le modèle et ceux observés — ou plutôt à observer — dans le bassin versant naturel il est encore trop tôt. Les expériences acquises se montrent cependant encourageantes pour la continuation des recherches sur modèle réduit. On a réussi à élaborer des indications utiles concernant les méthodes et procédés à suivre au cours des recherches futures, ainsi

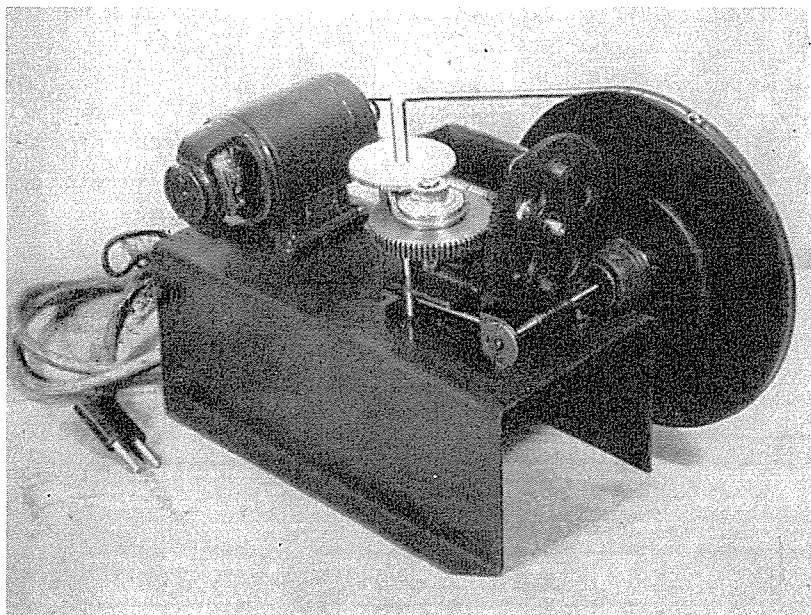


Fig. 5 — Rotateur électrique du cylindre porte-papier de l'enregistreur.

que pour la sélection des recherches nécessaires à l'approche progressive de la réalité, en désignant aussi l'ordre chronologique recommandable de leur mise en exécution.

Pour compléter l'information à ce sujet nous remarquons que l'Institut des Recherches Hydrotechniques à Pékin — auquel, sur sa demande, nous avons envoyé les projets de nos dispositifs et instruments, ainsi que les résultats obtenus — a réalisé aussi des tels modèles. D'un intéressant mémoire paru dans la revue chinoise d'hydraulique « SHUILI XUEBAO », on peut conclure qu'ils sont arrivés à des résultats s'accordant avec deux des expériences faites à Nagymaros. On peut tenir pour certain cependant que les savants chinois sont déjà avancés beaucoup plus loin dans ce domaine de recherches.

CONCLUSIONS

Nos recherches ont démontré qu'il est possible de construire un modèle de dimensions réduites d'un bassin versant sur lequel on peut suivre d'une manière

convenable les divers phases de la concentration des eaux météoriques et de déterminer sur la base des résultats obtenus, quelques constatations de valeur pratique (par exemple il y a un certain retard entre le commencement du ruissellement et le début de la pluie). Notre présent outillage ne suffisait pas cependant pour que nous puissions

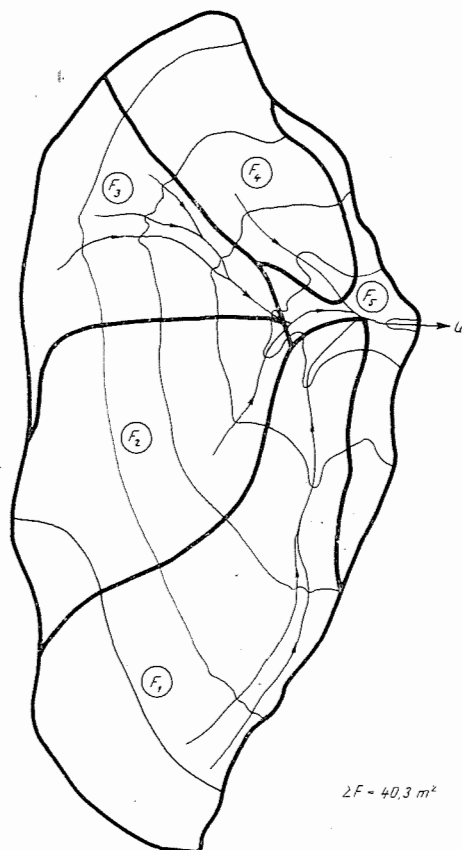


Fig. 6 — La division du modèle en bassins secondaires.

transposer les résultats quantitatifs du modèle au bassin versant naturel. Dans ce domaine, nous sommes seulement arrivés à l'exposé raisonné des problèmes. Il faut donc effectuer tout d'abord de nombreuses études préparatoires. L'auteur présente les suggestions suivantes :

1) Dans la première phase des études — à titre provisoire — on ne vise pas à transposer d'une manière directe du modèle au bassin naturel; on tend plutôt à concentrer les recherches sur la comparaison des faits d'observation acquis par des études effectuées sur des modèles en deux — ou bien en trois — échelles différentes du bassin versant naturel choisi pour les essais. Dans le cadre de cette série d'expériences préparatoires il est nécessaire de prévoir des essais correspondant à des combinaisons de diverses valeurs des facteurs influant sur la cumulation des eaux météoriques. Seulement la recherche effectuée à l'aide d'une grande abondance de détails prudemment choisis

peut rendre possible le développement d'une méthode, digne de confiance, pour tirer des conclusions quantitatives propres à passer d'abord du modèle en dimensions mineures à celui en dimensions majeures, et plus tard du modèle au prototype.

2) En même temps, il faut exécuter des essais pour trouver la méthode à suivre dans le choix du mode de représentation sur le modèle des propriétés individuelles des versants naturels (pente faible ou raide, nu et lisse ou nu et sillonné de stries creusées par érosion, gazonné en divers degrés, raviné, etc.) du bassin naturel.

3) Ce n'est que sur la base des résultats obtenus au moyen de tels essais préparatoires qu'on peut passer aux études concernant la relation réciproque entre le bassin versant naturel et son modèle. Pour de telles recherches, un bassin pareil à celui décrit plus avant se montre bien approprié par suite de sa forme, de son relief et de ses autres caractères. Il faut remarquer qu'il est nécessaire de faire aussi des essais sur modèles distordus, pour constater les effets de la distorsion sur le phénomène de la concentration des eaux de pluie. C'est indispensable parce que les modèles de bassins de grandes dimensions ne sont évidemment réalisables qu'en forme distordue.

L'auteur tient à remercier M. Cs. SZOLNOKY qui a dirigé les travaux de construction du modèle et les observations sur celui-ci, ainsi que M^{me} VARRÓK et M.D. LANGMÁR pour l'aide technique qu'ils lui ont apportée au cours des expériences.

LITTÉRATURE

- (¹) NÉMETH, Endre, Hydrological Research in Hungary.—Acta Technica Academiae Scientiarum Hungaricae.—Tomus XVIII. Fasc. 1-2, 1957.
- (²) BÁNKY, Gy., Results of the operation on the erosion-measuring station at Kisnána for the years 1956 to 1958.—Colloque de Hannoversh-Münden.—Tome I, p. 271.
- (³) NÉMETH, Endre, Les Recherches Hydrologiques en Hongrie. — Acta Technica Acad. Scient. Hungaricae. Tomus XXX. Fasc. 1-2, 1960.
- (⁴) XIAN Zhu, ZHUO-RU, Wen, Basic Assumption of Unitgraph Method as Checked by Hydrological Scale Model Experiments.—SHUILI XUEBAO, 1959. Fasc. 3. Pékin.
- (⁵) ÖLLÖS, Géza, Vizgyűjtőterületek modellen történő vizsgálatának fejlődése Kínában. — Hidrológiai Közöny, 1960.